

基于层次分析与模糊综合评价的无人机精确保障效能评估*

王红旗 牟泽龙 郭亚子
(陆军勤务学院 重庆 401331)

摘 要 无人机精确保障在未来的后勤领域有着广阔的应用空间。针对无人机精确保障的效能评估,运用层次分析法和模糊综合评价,建立无人机精确保障效能的评价指标体系,确定每项指标的权重,以某机型为例进行量化的具体评价,为精确保障无人机的研制和使用提供了定量的依据。

关键词 无人机;精确保障;层次分析;模糊综合评价

中图分类号 G449.7 **DOI:**10.3969/j.issn.1672-9730.2021.05.025

Effectiveness Evaluation of UAV Precise Support Based on AHP and Fuzzy Comprehensive Evaluation

WANG Hongqi MOU Zelong GUO Yazi
(Army Logistics University, Chongqing 401331)

Abstract The precise support with UAV could be widely used in the future. Aiming at the effectiveness evaluation of UAV's precise support, the method of AHP and fuzzy comprehensive evaluation is used. The evaluation index system of UAV's precise support effectiveness is established, the weight of each index is determined, and a certain type of UAV is taken as an example for quantitative evaluation, which provides a quantitative basis for the development and using of the precise support UAV.

Key Words UAV, precise support, AHP, fuzzy comprehensive evaluation

Class Number G449.7

1 引言

随着现代无人机^[1]技术的迅速发展战争形态的升级,许多西方国家正在探索将无人机应用于军事后勤领域。例如美国在伊拉克战争和阿富汗战争中意识到,常规后勤保障在山区中具有难以行进、易受打击、成本偏高等不利因素,因此美军开始研究更加安全、经济、能重复利用、设计灵活的无人机精确保障手段,并将其列入无人机发展规划中的重点内容之一^[2]。无人机的简易、灵活、低风险等优势使其能有效满足未来战场中后勤精确保障的需求。

任何一种武器装备都需要进行效能评估^[3],这

也是现代军事和作战问题研究的一项重要内容。武器装备的效能评估一般利用建模仿真的方法,考虑装备平时和战时的使用场景,以装备的可用性、可信性、固有能力等作为输入对保障效能进行实时的评价和优化。对于军用后勤保障无人机,其研发和使用需要巨大的资金投入,为使无人机装备的保障效能得到最大程度的发挥,提升其效能费用比,同时明确我方的实际无人机保障能力,有必要建立一套无人机精确保障效能的评估模型,对无人机进行合理的保障效能评估。基于此,本文首先根据无人机的使用经验构建无人机精确保障能力的指标体系,接着采用层次分析法^[4-5]确定保障能力体系中各项指标的权重系数,然后使用模糊综合评价

* 收稿日期:2020年12月11日,修回日期:2021年1月23日
基金项目:国家社会科学基金军事学项目“陆军战役军团远程机动后勤保障研究”(编号:12GJ003-082)资助。
作者简介:王红旗,男,硕士,副教授,研究方向:军事后勤学。牟泽龙,男,博士研究生,研究方向:计算机仿真建模。郭亚子,男,硕士研究生,研究方向:军事后勤学。

法^[6-8]进行指标的量化计算,最终得到无人机精确保障效能的量化指标。

2 无人机精确保障效能的评价指标体系

2.1 无人机精确保障效能指标

后勤保障用无人机主要用来实现快速安全的

定人定点精确保障,其保障能力的各项指标具有层次化的特征。通过分析精确保障无人机的功能及需求,可以确定其效能评价指标,主要包括机体性能、导航能力、保障能力、生存能力、环境适应能力这几大类,以上作为一级指标。基于一级指标的分析可确立相应的二级指标,即得到无人机精确保障效能评价指标体系,如图 1 所示。

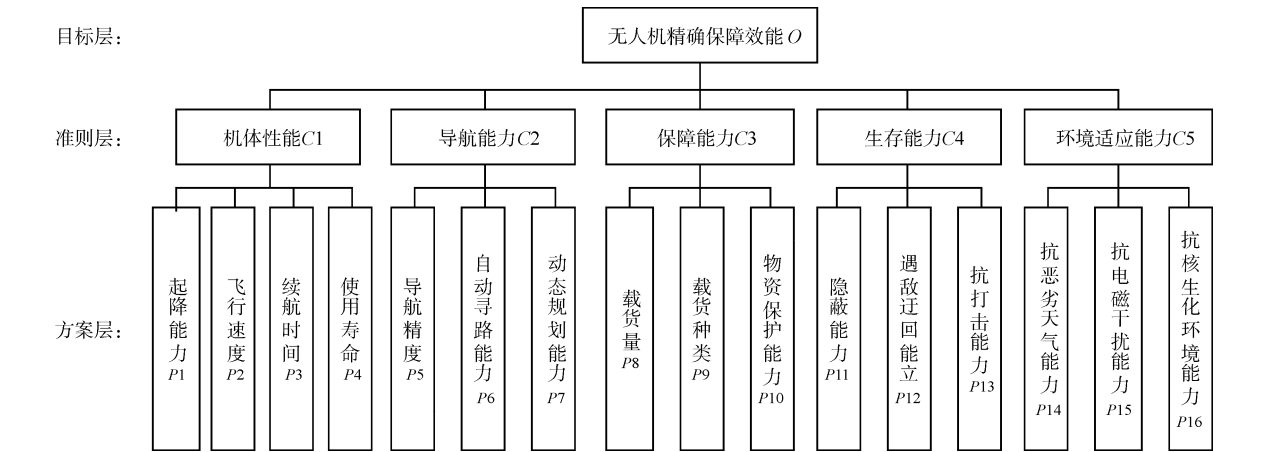


图 1 无人机精确保障效能评价指标体系

2.2 层次分析法计算保障效能指标权重

在无人机精确保障效能评价指标体系中,不同因素指标所占据的重要程度是不同的。为了合理评价无人机保障效能,需要得到各因素的相对权重关系并量化。本文主要采用了层次分析法(Alytic Hierarchy Process, AHP)^[9-10]理论来探讨如何量化各影响因素的相对权重,这种方法能系统地分析问题,量化人的主观判断准则,具体计算方法如下。

1)确立模型的层次结构:本文按照无人机精确保障效能评价的要求构建评价模式层次结构。设定无人机精确保障效能为目标层 O ;选取机体性能、导航能力、保障能力、生存能力、环境适应能力五个方面来评定保障效能,作为准则层 C ;准则层进一步分为十五个因素作为因素层 P 。

2)构建判断矩阵:本文根据递阶层次结构来构建判断矩阵。确定判断矩阵的方法为:反复询问相关领域专家,对任意选择的两个元素,比较哪个元素更加重要,然后对重要性程度按数字 1~9 赋值,重要性标度值的选取采用萨迪^[11]的标度法,如表 1 所示。

按照图 1 所示的质量评价体系结构,应用萨迪教授的标度法,在反复咨询专家之后,按照判断矩阵的生成方式和结构特点,建立无人机精确保障效能评价指标体系各个层次的判断矩阵,如表 2~表 7 所示。

万方数据

表 1 重要性标度含义表

重要性标度	含义
1	表示两个元素相比,重要性相同
3	表示两个元素相比,前者比后者稍重要
5	表示两个元素相比,前者比后者明显重要
7	表示两个元素相比,前者比后者强烈重要
9	表示两个元素相比,前者比后者极端重要
2,4,6,8	表示上述判断的中间值
倒数	设元素 i 与元素 j 的重要性之比为 a_{ij} ,那么元素 j 与元素 i 的重要性之比 $a_{ji}=1/a_{ij}$

表 2 O 判断矩阵

O	$C1$	$C2$	$C3$	$C4$	$C5$	ω_o	一致性检验指标
$C1$	1	1/2	1/4	1/3	3	0.1151	5.2208
$C2$	2	1	1/3	1/2	2	0.1516	$CI=0.0552$
$C3$	4	3	1	2	5	0.4191	$CR=0.0493$
$C4$	3	2	1/2	1	2	0.2389	
$C5$	1/3	1/2	1/5	1/2	1	0.0752	

表 3 $C1$ 判断矩阵

$C1$	$P1$	$P2$	$P3$	$P4$	ω_o	一致性检验指标
$P1$	1	1/3	1/3	1/2	0.1038	4.1649
$P2$	3	1	1/3	2	0.2597	$CI=0.055$
$P3$	3	3	1	2	0.4576	$CR=0.0618$
$P4$	2	1/2	1/2	1	0.1789	

表4 C2判断矩阵

C2	P5	P6	P7	ω_0	一致性检验指标
P5	1	2	1/2	0.2970	3.0092
P6	1/2	1	1/3	0.1634	CI=0.0046
P7	2	3	1	0.5396	CR=0.0088

表5 C3判断矩阵

C3	P8	P9	P10	ω_0	一致性检验指标
P8	1	3	4	0.6250	3.0183
P9	1/3	1	2	0.2385	CI=0.0091
P10	1/4	1/2	1	0.1365	CR=0.0176

表6 C4判断矩阵

C4	P11	P12	P13	ω_0	一致性检验指标
P11	1	2	4	0.5368	3.094
P12	1/2	1	5	0.3643	CI=0.0470
P13	1/4	1/5	1	0.0989	CR=0.0904

表7 C5判断矩阵

C5	P14	P15	P16	ω_0	一致性检验指标
P14	1	2	5	0.5695	3.0246
P15	1/2	1	4	0.3331	CI=0.0123
P16	1/5	1/4	1	0.0974	CR=0.0236

3)计算评价体系中各因素的权重

根据以上各指标矩阵中各个元素间的相对重要值,计算每个元素与指标的比值在判断矩阵中的各个元素权重。

(1)将每行元素相乘:

$$M_i = \prod_{j=1}^n a_{ij}, i = 1, 2, \dots, n$$

(2)计算权重值 ω_i :

$$\omega_i = \sqrt[n]{M_i} / \sum_{j=1}^n \sqrt[n]{M_j}, i = 1, 2, \dots, n$$

由判断矩阵O可得到C1、C2、C3、C4的权重,即判断出机体性能、导航能力、保障能力、生存能力、环境适应能力对目标层“无人机精确保障效能评估”的权重,将结果填入表2中,得到5个准则因素对于目标层O的权向量。以此类推可计算得到判断矩阵C1、C2、C3、C4、C5的权向量,并将计算结果分别填入表3~表7中。

同时,为了保证判断矩阵合理,能科学反映各个指标的相对重要性,需要对每个判断矩阵的权向量进行一致性检验。

(1)计算判断矩阵的最大特征根 λ_{max} 。

(2)计算每个最大特征根的一致性指标CI (consistency index)。

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

万方数据

(3)根据表8确定平均随机一致性指标RI^[12] (random index)。

表8 平均随机一致性指标RI表

矩阵阶数	RI	矩阵阶数	RI
1	0	9	1.46
2	0	10	1.49
3	0.52	11	1.52
4	0.89	12	1.54
5	1.12	13	1.56
6	1.26	14	1.58
7	1.36	15	1.59
8	1.41		

(4)计算一致性比例CR(consistency ratio)并进行判断

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

(5)根据CR的值确定判断矩阵是否通过一致性检验。CR=0:判断矩阵是完全一致的;CR<0.1:判断矩阵的一致性可以接受;CR>0.1:判断矩阵不符合一致性要求,需要修改。

通过计算发现判断矩阵O、C1、C2、C3、C4的一致性比例CR值均小于0.1,因此认为它们的有效矩阵,并把最大特征值、CI、CR的值分别填入表2~表6。此时即得到各级因素的权重A:

$$A_0 = [0.1151 \ 0.1516 \ 0.4191 \ 0.2389 \ 0.0752]$$
$$A_1 = [0.1038 \ 0.2597 \ 0.4576 \ 0.1789]$$
$$A_2 = [0.2970 \ 0.1634 \ 0.5396]$$
$$A_3 = [0.6250 \ 0.2385 \ 0.1365]$$
$$A_4 = [0.5368 \ 0.3643 \ 0.0989]$$
$$A_5 = [0.5695 \ 0.3331 \ 0.0974]$$

3 无人机精确保障效能模糊综合评价

3.1 评价因素及评价集的确定

图1中指标体系的各项因素可作为模糊综合评价的因素集,这些指标外延性不明确,绝大多数为软指标。针对这个问题,本文对各指标制定如下的评价集V: {很好,好,一般,差,很差},对应的评分集为{1,0.8,0.6,0.4,0.2}。

3.2 无人机模糊关系矩阵的获取

多层次的模糊综合评价需要从低层次开始。无人机精确保障评价指标体系具有5个一级指标,每个一级指标均有数个二级指标,因此需要5个低级模糊关系矩阵R。为了详细计算以具体说明,本文假设某型号的保障用无人机已根据图1所示的评价指标进行了专家评分,得到了5个模糊关系矩阵如下。

$$\begin{aligned} R_1 &= \begin{bmatrix} 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.1 & 0.4 & 0.3 & 0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0 \end{bmatrix} \\ R_2 &= \begin{bmatrix} 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.6 & 0.2 & 0.1 \end{bmatrix} \\ R_3 &= \begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 & 0.6 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.1 \end{bmatrix} \\ R_4 &= \begin{bmatrix} 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \\ 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0 \end{bmatrix} \\ R_5 &= \begin{bmatrix} 0.1 & 0.1 & 0.7 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.2 & 0 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

其中, R_1 矩阵的第一行 $[0.1\ 0.3\ 0.5\ 0.1\ 0]$ 表示, 针对某机型的机体技能中的起降能力, 有 10% 的专家认为该机型很好, 有 30% 的专家认为该机型好, 有 50% 的专家认为该机型一般, 有 10% 的专家认为该机型差, 有 0% 的专家认为该机型很差, 以此类推。

3.3 模糊综合评判分数的计算

由权重向量 A_i 和模糊关系矩阵 R_i , 计算评价向量 $B_i=A_i \times R_i\ (i=1,2,3,4,5)$:

$$\begin{aligned} B_1 &= [0.2075\ 0.3117\ 0.3746\ 0.1062\ 0] \\ B_2 &= [0.0624\ 0.1921\ 0.5540\ 0.1376\ 0.0540] \\ B_3 &= [0.1966\ 0.2477\ 0.4637\ 0.0785\ 0.0137] \\ B_4 &= [0.1463\ 0.3630\ 0.2636\ 0.1735\ 0.0537] \\ B_5 &= [0.1528\ 0.2194\ 0.4945\ 0.1333\ 0] \end{aligned}$$

可得目标层的模糊关系矩阵 R_0 :

$$R_0 = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2075 & 0.3117 & 0.3746 & 0.1062 & 0 \\ 0.0624 & 0.1921 & 0.5540 & 0.1376 & 0.0540 \\ 0.1966 & 0.2477 & 0.4637 & 0.0785 & 0.0137 \\ 0.1463 & 0.3630 & 0.2636 & 0.1735 & 0.0537 \\ 0.1528 & 0.2194 & 0.4945 & 0.1333 & 0 \end{bmatrix}$$

于是可得评价向量:

$$B_0=A_0 \times R_0=[0.1622\ 0.2720\ 0.4216\ 0.1174\ 0.0267]$$

根据前文制定的无人机精确保障效能评价体系和评分集, 某机型的最终得分为 $B_0 \times$ 评分集^T, 最终综合得分为 0.685。

为了确定某机型各项一级指标的具体得分, 计算 $B_i \times$ 评分集^T, 得到:

$$S_1=0.7241, S_2=0.6143, S_3=0.7070, S_4=0.6750, S_5=0.6783.$$

可见该机型的第一项指标“机体性能”相对较好, 但第二项指标“导航能力”和第四项“生存能力”方面较为不足, 需要进一步改进。

4 结语

无人机在精确保障领域有着广阔的应用前景, 对无人机的精确保障效能进行评估能判断无人机性价比、明确保障实力, 有利于精确保障无人机的研究与开发。本文针对无人机的精确保障效能, 在建立无人机精确保障效能评价指标体系的基础上, 应用层次分析法和模糊综合评价法给出了无人机精确保障效能评估的量化模型, 为科研人员和作战人员提供了无人机精确保障效能的定量依据, 也为进一步改善无人机的保障效能提供了参考。

参考文献

[1] Eva Schulz-Kamm, Jacques Kruse Brandao. 通过设计确保安全和隐私:保障无人机的未来[J]. 中国集成电路, 2016,25(06):56-59.

[2] Office of the Secretary of Defense. Unmanned aircraft systems roadmap 2005-2030[R]. USA: Office of the Secretary of Defense, 2005.

[3] 徐哲涵. 装备保障效能评估体系建立及应用研究[C]// Proceedings of 2011 International Conference on Management Science and Engineering (MSE 2011), 2011: 372-378.

[4] 尹程冬, 肖治鑫, 牟泽龙. 基于层次分析法的军事物流信息系统建设资金分配研究[J]. 舰船电子工程, 2019, 39(11):108-111.

[5] 苏艳琴, 张光轶, 杨小林. 层次分析法在信息系统风险评估中的应用分析[J]. 舰船电子工程, 2017,37(06): 75-78.

[6] 乔涵, 费先宏, 肖骅. 基于模糊 AHP 法的新型密集式立体军需仓库运行效率效能评估[J]. 舰船电子工程, 2019,39(12):137-140.

[7] 朱文秀, 宋剑, 李凌. 基于模糊综合评判法的信息通信训练效果评估[J]. 舰船电子工程, 2019, 39(06): 129-132.

[8] Di Yin. Research on Fuzzy Comprehensive Evaluation of Passenger Satisfaction in Urban Public Transport [J]. Modern Economy, 2018, 9(3):528-535.

[9] 杜栋, 庞庆华, 吴炎. 现代综合评价方法与案例精选 (第3版)[M]. 北京:清华大学出版社, 2015: 14-36.

[10] F. Lolli, A. Ishizaka, R. Gamberini. New AHP-based approaches for multi-criteria inventory classification[J]. International Journal of Production Economics, 2014, 156: 62-74.

[11] 邱玮, 张增磊, 田文祥, 等. 基于层次分析法和模糊综合评判的装备保障人员能力评估[J]. 兵器装备工程学报, 2018, 39(4):108-113.

[12] 洪志国, 李焱, 范植华, 等. 层次分析法中高阶平均随机一致性指标(RI)的计算[J]. 计算机工程与应用, 2002(12):45-47, 150.