

doi: 10.7690/bgzd.2023.04.013

基于模糊层次分析的导弹输送伴随保障能力评估

宋欢¹, 舒健生², 武健², 周于翔¹

(1. 火箭军工程大学研究生院, 西安 710025; 2. 火箭军工程大学作战保障学院, 西安 710025)

摘要: 为提高作战保障单元遂行导弹输送伴随保障能力, 提出一种能力评估方法。通过分析导弹输送任务行动过程中的伴随保障需求, 建立伴随保障能力评价模型, 并运用模糊层次分析法(fuzzy analytic hierarchy process, F-AHP)对某作战保障单元进行实例评估。结果表明: 该方法符合实际作战需要, 能减少主观因素的影响, 对部队伴随保障决策具有一定指导作用。

关键词: 模糊综合评价; 层次分析法; 导弹输送; 伴随保障能力

中图分类号: TJ760.7 **文献标志码:** A

Evaluation of Accompanying Support Capability of Missile Delivery Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process

Song Huan¹, Shu Jiansheng², Wu Jian², Zhou Yuxiang¹

(1. College of Graduate, Rocket Force University of Engineering, Xi'an 710025, China;

2. College of Combat Support, Rocket Force University of Engineering, Xi'an 710025, China)

Abstract: In order to improve the support capability of combat support unit in the process of missile delivery, a capability evaluation method was proposed. By analyzing the accompanying support requirements in the process of missile delivery mission, the evaluation model of accompanying support capability is established, and the fuzzy analytic hierarchy process (F-AHP) is used to evaluate a combat support unit. The results show that the method can meet the needs of actual combat, reduce the influence of subjective factors, and play a guiding role in the decision-making of military accompanying support.

Keywords: fuzzy comprehensive evaluation; analytic hierarchy process (AHP); missile transport; accompanying support capability

0 引言

导弹输送任务是将某型导弹快速、精准、有效地送达作战部队的行动, 从而确保反击作战顺利实施, 具有保密要求极端严格、安全压力巨大、军地动力量众多等特点, 作战保障单元对其实施伴随保障是确保输送任务顺利完成的必要条件。目前, 在伴随保障能力评估研究方面并没有系统的方法和标准, 严重制约作战能力提升。因此对导弹输送伴随保障能力进行评估十分必要, 有利于查找存在的问题短板, 对提升部队战斗力具有较强现实意义。

伴随保障能力评估是复杂结构多因素评价问题, 适用模糊层次分析法(F-AHP)进行研究。模糊层次分析法是融合层次分析法和模糊综合评价法的一种综合评价方法^[1], 具有系统性强、计算简便、结果清晰等特点, 在经济、军事、制造业、物流等诸多决策领域中得到广泛应用, 如文献[1-4]利用模糊层次分析法研究了物流中心的选址问题; 逢海

博^[5]运用模糊层次理论构建分层的交通拥堵检测模型, 实现对交通拥堵指标的权重量化评估与权值精确化; 文献[6-10]综合运用模糊层次分析法对航材保障能力、登陆部队作战效能、导弹装备保障能力、导弹作战分队能力等进行了评估, 评估结果直观清晰, 丰富了部队各项能力评估方法。笔者根据导弹输送任务特性规律, 建立伴随保障能力评估指标体系, 构建评估模型, 并结合某作战保障单元遂行导弹输送伴随保障行动进行实证分析, 探究影响伴随保障能力的要素, 为提升伴随保障能力提供科学合理的理论依据。

1 导弹输送伴随保障模型

为增强对导弹输送伴随保障能力研究的针对性, 笔者结合导弹输送伴随保障行动开展分析评估。

1.1 导弹输送伴随保障行动任务分析

伴随保障能力评估应从其遂行导弹输送伴随保

收稿日期: 2022-12-12; 修回日期: 2023-01-28

作者简介: 宋欢(1991—), 男, 贵州人, 硕士, 从事导弹部队作战保障研究。E-mail: 514124632@qq.com。

障行动着手。根据导弹输送行动不同阶段，分析其伴随保障的需求，根据实际输送行动对照具体的任务指标，从而建立起伴随保障能力的指标体系^[11]。

导弹输送主要行动过程如图 1 所示。

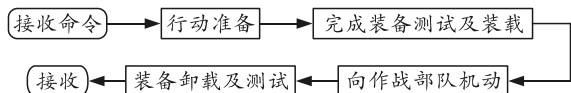


图 1 导弹输送主要行动过程

根据图中导弹输送主要行动过程，分析每个阶段所涉及的伴随保障任务，得到导弹输送伴随保障行动模型，如图 2 所示。

从上图可以看出，导弹输送伴随保障行动基本上由 6 个不同模块组成。指挥控制模块根据作战环境、情报信息以及上级命令指挥分队完成战斗准备，并将信息传输给其他模块；其他模块在指挥控制下共同完成伴随保障任务及互相间协同合作，同时指挥控制模块也会根据各模块反馈信息对各个方面行动进行动态调整。通过上述分析可以发现，导弹输

送伴随保障行动需要完成指挥控制、伴随警戒、工程保障、气象保障、机要电磁频谱管理以及应急处置等 6 方面的任务。

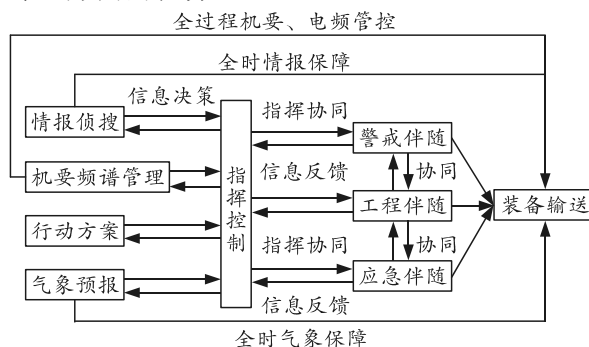


图 2 导弹输送伴随保障行动模型

根据上述任务，提取影响伴随保障能力的关键因素，在遵循科学性、系统性、层次性、可行性等原则的基础上，经过实地调研、专家审核测评和发放调查问卷等检验评估，最终确立伴随保障能力评估指标体系如图 3 所示。

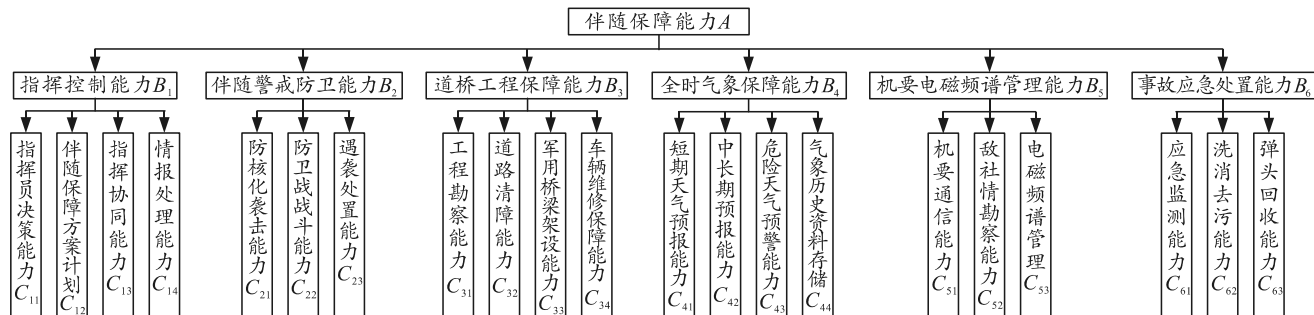


图 3 伴随保障能力评估指标体系

1.2 确定评估指标

指挥控制能力是作战保障单元运筹谋划、指挥决策、协调控制以及调度使用伴随保障资源的能力，主要包括决策指挥、方案计划、指挥协同和情报处理。伴随警戒防卫能力是确保输送行动安全的基础，主要包括防核化袭击能力、防卫战斗能力、遇袭处置能力。道路工程保障能力是导弹输送路线通畅的必要条件，包括工程勘察能力、道路清障能力、军用桥梁架设能力、车辆维修保障能力。全时气象保障能力是为输送行动提供气象情报和相应保障措施的能力，包括短期、中长期天气预报能力、危险天气预警能力和气象历史资料存储。机要电磁频谱管理能力是保障导弹输送行动机密性的重要因素，包括机要通信能力、敌社情勘察、电磁频谱管理能力。事故应急处置能力是预防导弹装备事故及处理突发情况的能力，包括应急监测能力、洗消去污能力和弹头回收能力。以上 6 种能力及其具体要素最终构

成了导弹输送伴随保障能力评估指标体系。

2 模糊层次分析流程

模糊层次分析法的主要思路：首先建立评估指标体系，其次利用层次分析法对分层权重进行计算，然后用模糊综合评价法建立评语集、构建各指标隶属度矩阵，最后用评价向量与评语集成得出评估结果。

2.1 运用层次分析法确定权重

2.1.1 构造两两比较判断矩阵

假定上层 Z 中某因素 Z_k 所支配的下层 X 有 n 个因素 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ， a_{ij} 为 x_i 和 x_j 对 Z_k 的影响大小之比，则构造判断矩阵

$$A=(a_{ij})_{n \times n}(i, j=1, 2, \dots, n)。(1)$$

式中： $a_{ij} > 0$ ， $a_{ii}=1$ ， $a_{ij}=1/a_{ji}$ ，笔者采用 9 标度法^[12]。

2.1.2 分层权重计算

根据判断矩阵性质可知矩阵 A 为正互反矩阵^[7]，

必有唯一最大特征值 λ_{\max} 及对应特征向量 W ，使

$$AW = \lambda_{\max} W. \tag{2}$$

求解 W 即是该层所支配各因素的相对权重向量。

2.1.3 一致性检验

为确保分析的可靠性，需对矩阵 A 进行一致性检验^[12]：

$$C.I. = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1). \tag{3}$$

$$C.R. = C.I. / R.I. \tag{4}$$

式中：R.I. (random index) 为随机一致性指标，其值如表 1 所示；C.I. (consistency index) 为一致性指标；C.R. (consistency ratio) 为一致性比率。当 $C.R. < 0.1$ 或 $\lambda_{\max} = n$ 时，认为判断矩阵 A 有满意一致性；若 $C.R. > 0.1$ ，则需对判断矩阵进行修正。

表 1 R.I. 指标值

n	1	2	3	4	5	6	7	8
R.I.	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41

层次分析过程存在的缺点主要是当较多指标同属某一层时，无法确保思维的一致性。此时，将模糊综合评价与层次分析法融合，能有效解决这一问题。

2.2 模糊综合评价

2.2.1 建立因素集与评语集

建立导弹输送伴随保障的因素集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 以及评语集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ ， v_j 为第 j 种评价结果， n 为总的评价结果数。通过咨询专家及伴随保障人员的意见，将评语集中对各因素的评价等级分为很强、较强、中等、较弱、很弱。

2.2.2 构建单因素模糊关系矩阵

从下往上逐层选取单一因素 $u_i (i=1, 2, \dots, m)$ 进行模糊评价，确定因素 u_i 对应的评价等级 $v_j (j=1, 2, \dots, n)$ 的隶属度 r_{ij} ，得到单因素模糊关系矩阵 R_i 。

2.2.3 明确各评价因素的相对权重向量

由层次分析得相对权重向量 W_i ，利用 Matlab 软件求得单因素模糊评价向量 H_i ：

$$H_i = W_i \cdot R_i. \tag{5}$$

2.2.4 计算综合模糊评价向量

由各个单因素的模糊评价向量得综合模糊关系矩阵 $R = (H_1, H_2, \dots, H_i)^T$ 。然后通过加权得出综合模糊评价向量 H ：

$$H = W \cdot R. \tag{6}$$

2.2.5 计算综合评价得分

最终由综合模糊评价向量与评语集取值计算可得综合评价得分 S ：

$$S = H \cdot V^T. \tag{7}$$

3 算例分析

以某作战保障单元实施导弹输送任务伴随保障行动为例，依据所建模型对其伴随保障能力进行评估。

3.1 评价指标体系权重计算

根据图 3 的伴随保障能力评估指标体系层次模型，由专家按照 9 标度法打分，建立准则层相对目标层的判断矩阵 P 如下：

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/4 & 5 & 2 & 3 \\ 3 & 1 & 1/2 & 2 & 3 & 2 \\ 4 & 2 & 1 & 4 & 5 & 3 \\ 1/5 & 1/2 & 1/4 & 1 & 1/2 & 1/4 \\ 1/2 & 1/3 & 1/5 & 2 & 1 & 1/2 \\ 1/3 & 1/2 & 1/3 & 4 & 2 & 1 \end{bmatrix}.$$

通过 Matlab 软件求得判断矩阵的权重向量 $W = (0.110\ 7, 0.332\ 1, 0.442\ 8, 0.022\ 1, 0.055\ 4, 0.036\ 9)$ ，最大特征根 $\lambda_{\max} = 6.563\ 9$ 。

由式(2)、(3)计算可得一致性指标 $C.I. = 0.112\ 8$ ，一致性比率 $C.R. = 0.090\ 9 < 0.1$ ，具有满意一致性。

同理构建对应指挥控制能力、伴随警戒防卫能力、道桥工程保障能力、全时气象保障能力、机要电磁频谱管理能力、事故应急处置能力的判断矩阵：

$$P_1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 2 \\ 1/2 & 1 & 2 & 1/2 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 1/3 \\ 1/2 & 2 & 3 & 1 \end{bmatrix}; \quad P_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/4 \\ 3 & 1 & 2 \\ 4 & 1/2 & 1 \end{bmatrix};$$

$$P_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 1/4 & 1/5 \\ 5 & 1 & 2 & 1/2 \\ 4 & 1/2 & 1 & 1/2 \\ 5 & 2 & 2 & 1 \end{bmatrix}; \quad P_4 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 3 \\ 1/2 & 1 & 2 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 1/2 \\ 1/3 & 1/2 & 2 & 1 \end{bmatrix};$$

$$P_5 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 \\ 1/3 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}; \quad P_6 = \begin{bmatrix} 1 & 1/4 & 1/3 \\ 4 & 1 & 2 \\ 3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}.$$

求解得出对应的权重向量及最大特征根如下：
 $W_1 = (0.428\ 6, 0.214\ 3, 0.142\ 9, 0.214\ 3)$ ， $\lambda_{\max 1} = 4.071\ 0$ ；
 $W_2 = (0.125\ 0, 0.375\ 0, 0.500\ 0)$ ， $\lambda_{\max 2} = 3.107\ 8$ ；

$$W_3=(0.066\ 7,0.333\ 3,0.266\ 7,0.333\ 3), \lambda_{\max 3}=4.088\ 4;$$

$$W_4=(0.461\ 5,0.230\ 8,0.153\ 8,0.153\ 8), \lambda_{\max 4}=4.071\ 0;$$

$$W_5=(0.545\ 5,0.181\ 8,0.272\ 7), \lambda_{\max 5}=3.135\ 6;$$

$$W_6=(0.125\ 0,0.500\ 0,0.375\ 0), \lambda_{\max 6}=3.018\ 3;$$

计算可知矩阵 $P_1、P_2、P_3、P_4、P_5、P_6$ 皆具有满意一致性。

3.2 模糊综合评价

由图 3 列出伴随保障能力因素集，其中综合指

表 2 评价结果隶属度汇总

r_{ij}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{31}	C_{32}	C_{33}	C_{34}	C_{41}	C_{42}	C_{43}	C_{44}	C_{51}	C_{52}	C_{53}	C_{61}	C_{62}	C_{63}
很强	0.2	0.3	0.1	0	0	0.3	0.3	0.3	0.5	0.1	0.4	0.6	0.5	0.7	0.2	0.4	0	0.1	0.4	0.6	0.2
较强	0.3	0.4	0.2	0.2	0.2	0.4	0.3	0.5	0.4	0.4	0.4	0.2	0.3	0.2	0.3	0.5	0.2	0.3	0.3	0.3	0.6
中等	0.3	0.2	0.3	0.4	0.5	0.2	0.2	0.2	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.1	0.6	0.4	0.3	0.1	0.1
较弱	0.2	0.1	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0	0.1	0.1	0	0	0.1
很弱	0	0	0.1	0.2	0.1	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0

由上表可得到各因素的模糊关系矩阵：

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.1 \\ 0 & 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.2 \end{bmatrix}; R_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0 \end{bmatrix};$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \\ 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.1 & 0 \end{bmatrix}; R_4 = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0 \end{bmatrix};$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.6 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix}; R_6 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.3 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.6 & 0.1 & 0.1 & 0 \end{bmatrix}。$$

由式(4)计算单因素模糊评价向量 $H_i=W_i \cdot R_i$ ：

$$H_1 = W_1 \cdot R_1 = (0.164\ 3, 0.285\ 7, 0.300\ 0, 0.192\ 9, 0.057\ 2);$$

$$H_2 = W_2 \cdot R_2 = (0.262\ 5, 0.325\ 0, 0.237\ 5, 0.162\ 5, 0.012\ 5);$$

$$H_3 = W_3 \cdot R_3 = (0.346\ 7, 0.406\ 7, 0.160\ 0, 0.060\ 0, 0.026\ 7);$$

$$H_4 = W_4 \cdot R_4 = (0.530\ 7, 0.238\ 4, 0.146\ 1, 0.084\ 6, 0);$$

$$H_5 = W_5 \cdot R_5 = (0.245\ 5, 0.390\ 9, 0.272\ 7, 0.045\ 5, 0.045\ 5);$$

$$H_6 = W_6 \cdot R_6 = (0.425\ 0, 0.412\ 5, 0.125\ 0, 0.037\ 5, 0)。$$

由各个单因素的模糊评价向量可得综合模糊关系矩阵 R ：

$$R = \begin{bmatrix} 0.164\ 3 & 0.285\ 7 & 0.300\ 0 & 0.192\ 9 & 0.057\ 2 \\ 0.262\ 5 & 0.325\ 0 & 0.237\ 5 & 0.162\ 5 & 0.012\ 5 \\ 0.346\ 7 & 0.406\ 7 & 0.160\ 0 & 0.060\ 0 & 0.026\ 7 \\ 0.530\ 7 & 0.238\ 4 & 0.146\ 1 & 0.084\ 6 & 0 \\ 0.245\ 5 & 0.390\ 9 & 0.272\ 7 & 0.045\ 5 & 0.045\ 5 \\ 0.425\ 0 & 0.412\ 5 & 0.125\ 0 & 0.037\ 5 & 0 \end{bmatrix}。$$

由式(5)计算综合模糊评价向量 $H=W \cdot R=(0.299\ 9,$

标因素集为： $A=\{B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6\}$ ；下一层次单因素指标因素集为：

$$B_1 = \{C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}\}; B_2 = \{C_{21}, C_{22}, C_{23}\};$$

$$B_3 = \{C_{31}, C_{32}, C_{33}, C_{34}\}; B_4 = \{C_{41}, C_{42}, C_{43}, C_{44}\};$$

$$B_5 = \{C_{51}, C_{52}, C_{53}\}; B_6 = \{C_{61}, C_{62}, C_{63}\}。$$

由 10 名专家与部队伴随保障人员分别对该作战保障单元的单因素指标进行评估，计算相应的隶属度 r_{ij} ， r_{ij} 是指标 u_i 被评为 v_j 的次数与专家总数之比，评价结果如表 2 所示。

0.361 8, 0.205 9, 0.107 7, 0.024 8)。

由式(6)相应赋值取 $V=\{90, 75, 60, 45, 30\}$ ，求得综合评价得分：

$$S=H \cdot V^T=72.070\ 5。$$

3.3 评价结果分析

该作战保障单元的伴随保障能力综合评分为 72.070 5，未达到较强评价，处在中等偏上水平，说明该作战保障单元在伴随保障能力方面还有较大的改进空间。从能力评估指标分析可知，伴随警戒防卫能力和道桥工程保障能力这 2 个因素的所占权重最大(77.49%)，但在这 2 个因素的评价指标上评价结果不够理想，特别是防核化袭击能力、军用桥梁架设能力等方面的评价有一大半在中等以下，这些短板较大程度地拉低了综合评分。经过建模分析评估，该作战保障单元应针对性解决在导弹输送伴随保障行动中存在的短板弱项，找准矛盾问题，突出训练重点，牢固树立实战化理念，扎实强化实战化练兵，更好地提高伴随保障能力。

4 结束语

笔者在分析导弹输送任务行动过程的基础上，根据其伴随保障的军事需求构建了伴随保障能力指标体系，并将模糊层次分析的方法运用到伴随保障能力评估中，最后结合实例进行了验证。结果表明：使用该方法对伴随保障能力进行评估，结果直观清晰，便于分析伴随保障行动中存在弱项短板，推动部队伴随保障能力提升。