

doi: 10.7690/bgzdh.2023.06.002

# 航母航空弹药保障能力优化的可拓策略生成研究

王 丰<sup>1</sup>, 李瑞鹏<sup>2</sup>

(1. 海军航空大学, 山东 烟台 264001; 2. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083)

**摘要:** 为对航母航空弹药保障能力进行优化, 提升舰载机出动架次率及航母作战能力, 将可拓学相关理论引入弹药保障优化的研究中。运用基元理论和分解、相关等可拓分析方法, 对航母航空弹药转运作业的流程进行分析, 逐个流程找出影响其转运作业时间的关键因素; 用解决矛盾问题的可拓策略生成方法及相容度函数, 寻求航空弹药转运作业流程优化的有效途径。算例分析结果表明: 该方法比较新颖, 思路独特, 可靠性较高, 实用性较强, 可为我国航母弹药转运系统的设计、优化及建设提供一种思路。

**关键词:** 航空弹药; 可拓学; 关联函数; 可拓策略生成

**中图分类号:** TJ83 **文献标志码:** A

## Research on Extension Strategy Generation of Aircraft Carrier Air Ammunition Support Capability Optimization

Wang Feng<sup>1</sup>, Li Ruipeng<sup>2</sup>

(1. Naval Aviation University, Yantai 264001, China;

2. School of Earth Sciences and Resources, University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** In order to optimize the ammunition support capability of aircraft carrier and improve the sortie rate of carrier-based aircraft and the combat capability of aircraft carrier, the extenics theory was introduced into the research of ammunition support optimization. The process of aircraft carrier ammunition transfer operation is analyzed by using the basic element theory and the extenics analysis methods such as decomposition and correlation, and the key factors affecting the transfer operation time are found out one by one. The effective way to optimize the process of aircraft ammunition transfer operation is sought by using the extenics strategy generation method and compatibility function to solve contradictory problems. The example analysis results show that the method is novel, unique, highly reliable and practical, which can provide an idea for the design, optimization and construction of the ammunition storage and transportation system of aircraft carrier in our country.

**Keywords:** air ammunition; extenics; correlation function; extension strategy generation

## 0 引言

航母作为海上的移动长城、海上霸主, 其发展受到越来越多军事大国的重视。在航母编队中, 舰载机是最关键的组成部分, 航母全系统和航母编队的绝大多数作战使命都要由舰载机来承担和完成。航空弹药作为舰载机的主要战斗武器, 其保障能力是影响舰载机出动架次率的重要因素之一, 而舰载机的出动架次率是衡量航母及航母编队的关键指标<sup>[1-2]</sup>; 因此, 提高航空弹药的保障能力, 对提升航母作战能力会产生至关重要的作用。

航空弹药转运流程比较复杂, 利用可拓学<sup>[3-4]</sup>中的基元理论和可拓分析方法, 对影响其流程作业的基元进行可拓分析。在此基础上, 对可能导致转运流程优化的基元进行可拓变换, 通过建立关联函数, 利用可拓策略生成方法, 寻求航空弹药转运作

业流程<sup>[5-7]</sup>优化的可拓策略方法, 以提高航空弹药转运效率, 为提升舰载机出动架次率及航母作战能力提供一种思路和途径。

## 1 可拓策略生成研究

### 1.1 流程图

航母航空弹药转运作业优化的流程<sup>[8-9]</sup>如图 1 所示。

### 1.2 具体步骤

航空弹药转运作业优化的可拓策略方法生成基本步骤如下:

1) 建立优化问题的形式化可拓描述。

界定航空弹药转运作业优化问题的目标和条件, 并用基元<sup>[3-4]</sup>分别刻画为  $G$  和  $L$ , 建立问题的形式化可拓描述为:

收稿日期: 2023-02-06; 修回日期: 2023-03-05

作者简介: 王 丰(1985—), 男, 山东人, 硕士, 工程师, 从事系统仿真与集成研究。E-mail: 1055478110@qq.com。

$$P = G * L。$$

2) 建立核优化问题的可拓模型。

分析、提炼并建立航空弹药转运作业优化问题的核优化问题为  $P_0 = G_0 * L_0$ 。

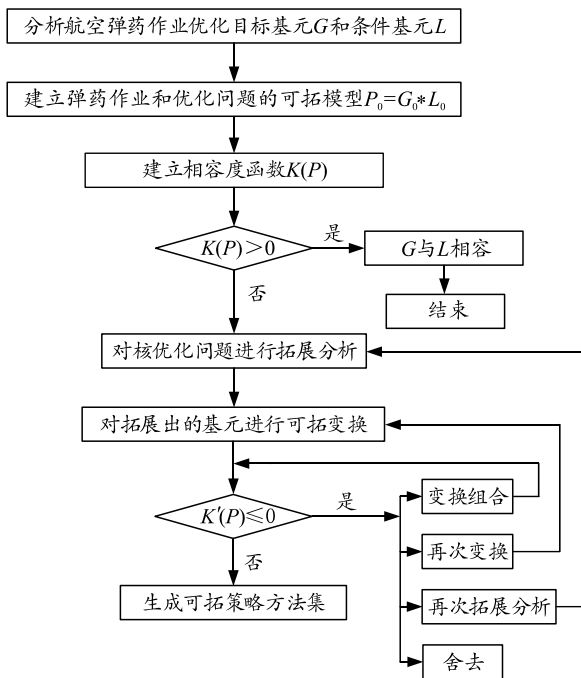


图 1 航母航空弹药转运作业优化的流程

3) 建立相容度函数。

根据航空弹药转运作业的实际问题，建立相容度函数<sup>[10-11]</sup> $K(P)$ 。

若  $K(P) < 0$ ，说明航空弹药转运作业的优化问题未得到解决；若  $K(P) = 0$ ，说明优化问题为临界问题，未得到解决；若  $K(P) > 0$ ，则说明航空弹药作业的优化问题得到解决。

4) 对核优化问题进行拓展分析。

若  $K(P) < 0$ ，则运用相关、蕴含、发散、可分解和可扩等拓展分析方法对目标或者条件进行拓展分析，形成可拓分析树，找出影响弹药转运作业的关键基元。

5) 进行可拓变换。

对拓展分析得到的基元进行可拓变换或可拓变换的运算，由于传导变换的作用，会使优化问题的相容度函数发生改变。若变换实施后的相容度函数  $K'(P) > 0$ ，说明弹药转运作业的优化问题得到解决；若  $K'(P) < 0$ ，说明优化问题未得到解决，则需要再次对核优化问题进行拓展分析，或再次对拓展分析得到的基元进行可拓变换。

6) 生成可拓策略方法。

通过可拓变换的计算，能使相容度函数

$K'(P) > 0$  的可拓变换  $\varphi_i (i=1, 2, \dots, n)$ ，即为解决弹药转运作业优化问题的可拓策略方法，从而生成可拓策略方法集合。

可以根据航空弹药转运优化问题的实际情况，选出较优的可拓策略方法进行实施。

## 2 算例分析

通过一个算例验证模型方法的有效性。航母现有的作战能力为  $a$ ，限于篇幅，仅从涉及航空弹药<sup>[12-16]</sup>转运流程的航母结构布局及技术改进角度出发，对航母航空弹药转运流程的优化进行研究，从而提高航空弹药保障能力及航母作战能力提供一种思路和方法。

### 2.1 问题的形式化可拓描述

该问题的形式化可拓模型<sup>[3-4]</sup>为

$$P = G * L；$$

(航母, 作战能力,  $a$ )\*

$$\left( \begin{array}{l} \text{转运, 支配对象, 航空弹药} \\ \text{施动对象, 转运人员} \\ \text{流程 } c_i, \text{ 提取, 装配, 运输} \\ \text{时间 } c_i, \text{ } t \text{ 分钟} \end{array} \right)。$$

航母舰载机的出动架次率是衡量航母作战能力的关键指标，而影响舰载机出动架次率的重要因素之一是航空弹药的转运。

通过分析，建立该问题的核问题为：

$$P_0 = G_0 * L_0 = \left( \begin{array}{l} \text{出动, 支配对象, 挂弹舰载机} \\ \text{时间, 1天} \\ \text{架次, } j \text{ 架次} \end{array} \right) *。$$

(航母, 作战能力,  $a$ )。

以  $X = \langle t, +\infty \rangle$  为正域，建立简单的相容度函数为：

$$K(L) = K(x) = t - x = t - t = 0。$$

即此问题为临界问题。

### 2.2 对问题的条件进行可拓分析

对条件进行可拓分析，寻找途径和方法，使相容度函数  $K(L) > 0$ 。航母航空弹药转运作业流程包括弹药的提取、装配、运输等环节。对  $L_0$  进行可分解分析，有：

$$L_0 // \{L_1, L_2, L_3\}。$$

式中：

$L_1 = (\text{航空弹药转运, 流程, 提取})；$

$L_2=(\text{航空弹药转运, 流程, 装配});$   
 $L_3=(\text{航空弹药转运, 流程, 运输}).$

对  $L_1$  进行相关分析, 有:

$$L_1 \sim B_1 = \begin{pmatrix} \text{取出, 支配对象, 弹药托盘} \\ \text{施动对象, 转运人员} \\ \text{设备1, 叉车} \\ \text{设备2, 起重机} \end{pmatrix}.$$

对  $B_1$  进行进一步分析, 有:

$$B_1 \sim \{B_{11}, B_{12}\}.$$

其中:

$$B_{11} = \begin{pmatrix} \text{叉车, 动力, 电力驱动} \\ \text{最大载重, } Q \text{ kg} \end{pmatrix};$$

$$B_{12} = \begin{pmatrix} \text{转运人员, 能力素质, 良好} \\ \text{操作熟练度, } c_s \end{pmatrix}.$$

对  $L_2$  进行相关分析, 得:

$$L_2 \sim B_2 = \begin{pmatrix} \text{装配, 支配对象, 弹药} \\ \text{施动对象, 装配人员} \\ \text{装配区, } A \\ \text{设施、设备, 装配台, 绞弹机} \end{pmatrix}.$$

对  $B_2$  进行进一步相关分析, 有:

$$B_2 \sim \{B_{21}, B_{22}, B_{23}, B_{24}\}.$$

其中:

$$B_{21} = \begin{pmatrix} \text{装配区 } A, \text{ 位置1, 舰艙船员食堂} \\ \text{位置2, 舰艙船员食堂} \end{pmatrix};$$

$$B_{22} = \begin{pmatrix} \text{装配人员, 考核等级, 称职} \\ \text{操作熟练度, } c_d \end{pmatrix};$$

$$B_{23} = (\text{装配台, 效率, } x_{23});$$

$$B_{24} = (\text{绞弹机, 效率, } x_{24}).$$

对  $L_3$  进行相关分析, 得:

$$L_3 \sim B_3 = \begin{pmatrix} \text{运输, 支配对象, 弹药} \\ \text{施动对象, 转运人员} \\ \text{设备1, 武器升降机} \\ \text{设备2, 运输车} \end{pmatrix}.$$

对  $B_2$  进行进一步相关分析, 有  $B_3 \sim \{B_{31}, B_{32}\}$

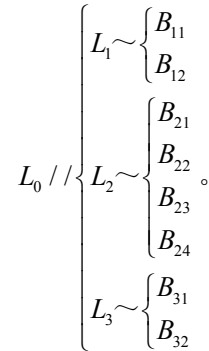
$$B_2 \sim \{B_{21}, B_{22}, B_{23}, B_{24}\}.$$

式中:

$$B_{31} = \begin{pmatrix} \text{武器升降机, 位置, 甲板飞行作业区下} \\ \text{动力, 电动液压} \\ \text{数量, } m_{31} \text{ 部} \end{pmatrix};$$

$$B_{32} = \begin{pmatrix} \text{弹药转运车, 型号, } M_{32} \\ \text{动力, 人力} \\ \text{效率, } x_{32} \end{pmatrix}.$$

根据以上可拓分析, 形成弹药转运作业流程的简单可拓分析树:



### 2.3 可拓变换和可拓策略的生成

通过对可拓分析树中的相关基元进行可拓变换或者可拓变换的运算, 寻找可能引起转运作业优化的途径和思路。

作可拓变换:

$$T_{B_{11}} B_{11} = \begin{pmatrix} \text{叉车, 动力, 电力驱动} \\ \text{最大载重, } Q' \text{ kg} \end{pmatrix}.$$

式中  $Q' > Q$ 。经过传导变换, 传导效应为  $Q' > Q$ , 使提取弹药人员一次性提取的弹药数量及重量增加, 从而使弹药转运时间得到一定程度的优化。此时:

$$T_{B_{11}} T c_t = t_{11} < t; \quad K(L) = K(x) = t - t_{11} > 0.$$

通过加强转运人员平时的训练和培训工作, 使

$$T_{B_{12}} B_{12} = \begin{pmatrix} \text{转运人员, 能力素质, 良好} \\ \text{操作熟练度, } c'_s \end{pmatrix}.$$

式中  $c'_s > c_s$ 。

经过基元的传导变换, 使弹药提取<sup>[17]</sup>的时间得到相应的缩短, 从而转运作业流程得到优化。此时:

$$T_{B_{12}} T c_t = t_{12} < t; \quad K(L) = K(x) = t - t_{12} > 0.$$

作可拓变换:

$$T_{B_{21}} B_{21} = \begin{pmatrix} \text{装配区 } A, \text{ 位置1, 专门区域1} \\ \text{位置2, 专门区域2} \end{pmatrix}.$$

即在 2 甲至 6 甲设置专门的弹药装配区, 不再占用舰员的食堂区域, 省去装配弹药时拆卸和安装相关设施、设备的时间。此时有:

$$T_{B_{21}} T c_t = t_{21} < t; \quad K(L) = K(x) = t - t_{21} > 0.$$

作可拓变换:

$$T_{B_{22}}B_{22} = \begin{pmatrix} \text{装配人员, 考核等级, 称职} \\ \text{操作熟练度, } c'_d \end{pmatrix}。$$

式中  $c'_d > c_d$ 。经过基元的传导变换，传导效应为  $c'_d > c_d$ 。此可拓变换缩短了弹药的装配时间，优化了弹药转运作业<sup>[18-19]</sup>流程。此时：

$$T_{B_{22}}Tc_i = t_{22} < t, \quad K(L) = K(x) = t - t_{22} > 0。$$

作可拓变换：

$$T_{B_{23}}B_{23} = (\text{装配台, 效率, } x'_{23})；$$

$$T_{B_{24}}B_{24} = (\text{绞弹机, 效率, } x'_{24})。$$

即通过采用新技术，改进装配台和绞弹机的性能，提高设备的运行效率，缩短弹药装配的时间。经过传导变换的作用，优化了弹药转运作业流程。此时：

$$T_{B_{23}}Tc_i = t_{23} < t, \quad K(L) = K(x) = t - t_{23} > 0, \quad T_{B_{24}}Tc_i = t_{24} < t,$$

$$K(L) = K(x) = t - t_{24} > 0。$$

作可拓变换：

$$T_{B_{22}}B_{22} = \begin{pmatrix} \text{武器升降机, 位置, 右侧, 靠近舷侧} \\ \text{动力, 永磁电机驱动} \\ \text{数量, } m'_{31} \text{部} \end{pmatrix}。$$

即通过将武器升降机在飞行甲板的开口位置改为在飞行甲板的右侧，靠近甲板舷侧的位置，同时避开起飞和着舰区。这个可拓变换减少了弹药转运对飞行作业的影响，优化了转运作业；采用新技术，利用永磁电机作为武器升级机的动力输出，提高升降速度和运行效率，减少故障的发生；一定程度上优化了弹药转运作业流程。此时：

$$T_{B_{31}}Tc_i = t_{31} < t; \quad K(L) = K(x) = t - t_{31} > 0。$$

根据上述的可拓变换，若从优化航母结构布局及采用新技术角度，可生成可拓策略方法为：

$$T = \begin{pmatrix} \text{提升, 支配对象, 航母作战能力} \\ \text{可拓策略1, } T_{B_{21}}B_{21} \\ \text{可拓策略2, } T_{B_{23}}B_{23} \\ \text{可拓策略3, } T_{B_{24}}B_{24} \\ \text{可拓策略4, } T_{B_{31}}B_{31} \\ \text{可拓策略5, } T_{B_{32}}B_{32} \\ \vdots \\ \vdots \end{pmatrix}。$$

### 3 结论

笔者将可拓策略方法引入到航空弹药保障能力的优化中，用形式化的可拓模型刻画优化问题，通

过分解、相关等分析方法对航空弹药转运作业的各个流程进行分析，找出与各转运作业相关的基元，从而找出转运作业优化的关键。结合关联函数，寻求航母航空弹药转运作业优化的可拓策略方法。下一步，将对相关领域进行深入研究，并利用计算机编程简化优化的过程。

### 参考文献：

- [1] 史文强, 李彦庆, 陈练. 航母的航空弹药贮运作业解析[J]. 舰船科学技术, 2013, 35(6): 136-141.
- [2] 叶文, 赵建忠, 吕晓峰. 航空弹药供应保障存在的问题及对策[J]. 国防科技, 2017, 38(2): 42-45.
- [3] 杨春燕, 蔡文. 可拓工程[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 21-78.
- [4] WANG F, ZHANG J C, LI R H. Process element on expansion of the random process's mean function and variance function[C]// Extenics and Innovation Methods-Proceedings of the In-ternational Symposium on Extenics and Innov-ation Methods. China, 2013.
- [5] 钮建伟, 秦洁, 丁文英. 基于资源限制的多目标网络计划优化模型[J]. 工业工程, 2015, 18(6): 116-124.
- [6] 晋伊灿, 陈立云, 高秀峰, 等. 信息化条件下航空弹药复合保障模式[J]. 兵工自动化, 2014, 33(2): 11-14.
- [7] YAKHCHALI S H, GHODSYPOUR S H. Computing latest starting times of activities in interval valued networks with minimal time lags[J]. Euro-pean Journal of Operational Research, 2010, 200(3): 874-880.
- [8] GAIDUK A R, VERSHININ Y A, WEST M J. Neural network and optimization problems[J]. Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Control Application, Glasgow, Scotland, U.K, 2002: 112-114.
- [9] SIRAKOULIS K K. The effectiveness of resource leveling tools for resource constraint project scheduling problem[J]. International Journal of Project Management, 2009, 27(5): 493-500.
- [10] 王丰, 袁廷昭, 张新春, 等. 共轭分析与传导度在导弹武器系统作战效能研究中的应用[J]. 兵工自动化, 2013, 32(11): 24-26.
- [11] 王丰, 张磊, 胡春万. 基于多级优度评价方法的导弹武器系统效能评估[J]. 指挥控制与仿真, 2017, 39(3): 74-77.
- [12] 郭小威, 马登武, 邓力. 基于 PERT 网络的航空弹药保障人员优化配置[J]. 北京航空航天大学学报, 2014, 40(1): 69-74.
- [13] 赵建忠, 邓建球, 陈洪. 航母航空弹药贮运系统维修保障能力建设研究[J]. 飞航导弹, 2015(11): 27-30.
- [14] 康宗宇, 陈义军, 陈伟. 航空战时弹药保障供应能力优化预测仿真[J]. 计算机仿真, 2017, 34(2): 49-52, 69.