

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.01.010

## 海军航空兵飞行团转场飞机选择模型

齐玉东<sup>1</sup>, 闫晓斌<sup>2</sup>, 谢晓方<sup>1</sup>

(1. 海军航空工程学院兵器科学与技术系, 山东 烟台 264001; 2. 海军航空工程学院训练部, 山东 烟台 264001)

**摘要:** 为解决目前飞行团制定转场飞机使用计划时存在的问题, 设计一种海军航空兵飞行团转场飞机选择模型。根据各种影响因素合理确定使用寿命战备储存量, 结合一些转场飞机选择规则, 使用混合整数规划的方法, 对飞行团转场飞机选择方法进行改进, 优化出转场飞机, 并对所建立飞机选择模型进行实例验证。实验结果证明: 该模型能合理制定飞机使用计划, 科学调度飞机, 保证转场期间飞机的有效使用, 具有较高的应用价值。

**关键词:** 机动转场; 飞机寿命; 飞机选择; 混合整数规划

**中图分类号:** TJ089 **文献标志码:** A

## Aircraft Selecting Model for Naval Aviation Regiment Transportation

Qi Yudong<sup>1</sup>, Yan Xiaobin<sup>2</sup>, Xie Xiaofang<sup>1</sup>(1. Dept. of Ordnance Science & Technology, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China;  
2. Training Department, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China)

**Abstract:** When air regiment plan to select aircrafts for transportation some problems arisen, in order to solve them, this paper established and validated an aircraft selection model with mixed integer programming (MIP) on the base of some aircraft selection rules and a reasonable storage life with various factors. Experimental results show that this model has a high application value for the rational aircraft usage programs, scientific control of the aircraft, ensure the effective use of aircraft on the transportation period.

**Key words:** motor transportation; aircraft life; aircraft selection; MIP

## 0 引言

机动转场是海军航空兵飞行团集中、分散或转移时的作战行动。在快速、突然的情况下, 飞行团在一定的时期能够隐蔽、安全地转移到新的机场, 并能立即投入战斗。机动转场要求航空保障必须有快速反应的能力, 要做到机务准备快、工具设备装卸快, 航材物资运输快。其中, 制定合理的飞机使用计划是确保转场成功, 完成转场任务的一个重要前提。

当前部队主要根据飞机梯形使用计划图来制定飞机使用计划, 特别是修正飞机剩余寿命梯次提供了很好的决策支持<sup>[1]</sup>。但随着时间的推移, 这种方法的弊端逐渐暴露出来。首先, 这种方法没有充分考虑各种因素的影响, 统一要求各部队的飞机使用寿命战备储存量均为 40%, 在一定程度上制约了飞机实际使用的灵活性, 操作性较差<sup>[2]</sup>。其次, 由于转场飞行的特殊性, 在确定转场飞机时, 除了按飞机梯形使用计划优选飞机外, 还应本着转场期间飞机维修工作量最小的原则选择飞机<sup>[3]</sup>。针对上述问题, 笔者使用线性规划的方法, 对飞行团转场飞机

选择方法进行改进。

## 1 飞机选择模型

设某飞行团的飞机总数量为  $N$ , 第  $i$  个飞机的余寿与余寿控制线的寿命差为  $C_i$ , 第  $i$  个飞机的转场期间内的维修工作量为  $FM_i$ , 第  $i$  个飞机的转场期间内的有寿件更换工作量为  $FY_i$ 。

结合飞机使用寿命战备储存量的计算方法和飞机选择规则, 可构建飞机选择数学模型为:

$$\min \lambda_1 \times \frac{\sum_{i=1}^N C_i \times (1 - X_i)}{\sum_{i=1}^N C_i} + \lambda_2 \times \frac{\sum_{i=1}^N FM_i \times X_i}{\sum_{i=1}^N FM_i} + \lambda_3 \times \frac{\sum_{i=1}^N FY_i \times X_i}{\sum_{i=1}^N FY_i} \quad (1)$$

s.t.

$$X_i = \begin{cases} 1, & \text{当第 } i \text{ 架飞机被选中为转场飞机} \\ 0, & \text{当第 } i \text{ 架飞机未被选中为转场飞机} \end{cases}, (i=1, 2, \dots, N) \quad (2)$$

$$FT_i + DT_i + YT_i \leq FL_i, (i=1, 2, \dots, N) \quad (3)$$

$$TT - MT_i + DT_i / 24 \leq DY_i, (i=1, 2, \dots, N) \quad (4)$$

其中:

收稿日期: 2011-08-11; 修回日期: 2011-09-19

作者简介: 齐玉东(1973—), 男, 河南人, 博士, 副教授, 从事武器系统与运用工程、语义 Web 研究。

1) 式 (1) 为目标函数, 保证了转场飞机总的余寿最大, 所有转场飞机维修工作量最小和所有转场飞机有寿件更换工作量最小。其中 3 个系数  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  可由决策者指定, 若需在模型中考虑相应因素则将其设为 1, 否则设为 0, 如在战事紧迫情况下, 可将  $\lambda_1$  或  $\lambda_2$  置 0。

2) 式 (2) 中的  $X_i$  为飞机选择变量, 当第  $i$  架飞机被选中时, 设变量置 1, 否则置 0。

3) 式 (3) 保证了飞机执行任务后寿命不超时。其中:  $FT_i$  为第  $i$  架飞机的总飞行时间,  $DT_i$  为第  $i$  架飞机转场期间飞行时间 (h),  $YT_i$  为第  $i$  架飞机当日到转场前的训练时间,  $FL_i$  为第  $i$  架飞机阶段规定寿命。

4) 式 (4) 保证了转场期内飞机无需定检。其中:  $TT$  为转场日期,  $MT_i$  为第  $i$  架飞机上次定检日期,  $DY_i$  为第  $i$  架飞机定检周期。

## 2 模型求解

由目标函数可见, 这是一个混合整数线性规划问题, 模型求解的关键是求出  $C_i$ 、 $FM_i$  和  $FY_i$ 。求出这 3 个量后, 再使用混合整数线性规划算法求解。

### 2.1 飞机余寿与余寿控制线的寿命差的计算

其计算过程为: 首先计算出飞机使用寿命战备储存量, 然后使用修正后的飞机梯形使用计划图得出各架飞机的寿命差  $C_i$ 。

#### 2.1.1 飞机使用寿命战备储存量的计算

文献[4]对 4 个方面共 13 个对飞机使用寿命战备储存量影响较大的因素进行了分析, 这些因素覆盖面广, 具有很强的代表性, 因此, 可以比较准确、有效地得出它们对飞机寿命战备储存量定性、定量的影响结果。去掉战略层面的因素, 可以得到战术层面的 4 个因素及其与飞机使用寿命战备储存量  $S$  的关系。

##### 1) 飞机规模参量:

$$X_1 = \frac{\text{某时期飞机实有数}}{\text{某时期飞机编制数}}, X_1 \text{ 与 } S \text{ 成反比关系。}$$

##### 2) 部队技术等级参量:

$$X_2 = \begin{cases} 1.0, & \text{甲类团} \\ 0.8, & \text{战斗团} \\ 0.5, & \text{训练团} \end{cases}$$

海军航空兵飞行团共分为甲类团、战斗团、训

练团 3 类, 部队技术等级  $X_2$  与  $S$  成正比关系。

##### 3) 飞机大修周期参量:

$$X_3 = \frac{\text{飞机实际大修时间}}{\text{飞机规定大修时间}}, X_3 \text{ 与 } S \text{ 成正比关系。}$$

##### 4) 飞机完好率参量:

$$X_4 = -\frac{\text{完好飞机架日}}{\text{现有飞机总架日}}, X_4 \text{ 与 } S \text{ 成反比关系。}$$

根据上述各个因素的计算表达式, 并建立相应的权重集, 可得到  $S$  的计算公式。

$$S = \bar{S} \times \left( 1 + \frac{\sum_{i=1}^4 K_i X_i}{4} \right)$$

其中:  $\bar{S} = 40\%$ , 为飞机使用平均寿命战备储存量。 $K_i (i=1, 2, \dots, 4)$  为相应因素的权重。

### 2.1.2 计算寿命差

1) 飞机按阶段余寿大小排序, 从小到大排序。 $X$  轴为飞机号,  $Y$  轴为阶段余寿。

2) 计算全团飞机平均规定翻修时限的  $\min(100\%, 2 * S)$  (B)

$$T_B = \frac{\sum_{i=1}^{N_k} T_i}{N_k} \times \min(100\%, 2 * S) \quad (i=1, 2, \dots, N)$$

式中:  $T_B$  为全团飞机平均规定寿命的  $\min(100\%, 2 * S)$ ;  $T_i$  为第  $i$  架飞机的规定寿命;  $N_k$  为全团飞机架数。

3) 绘制  $S$  控制线在最后一架飞机对应的翻修剩余时间坐标轴 ( $Y$  轴) 上找到  $B$  值的点  $G$ , 连接坐标  $O$  原点和  $G$ , 即为平均战备储存量  $S$  的标准梯形线。

4) 计算各飞机与控制线的寿命差  $C_i =$  阶段余寿 -  $OG$  线相应值, 剩余寿命线在控制线上的为正值, 反之为负值。

### 2.2 飞机转场期间维修工作量的计算

飞机转场期间按各时限需做的维修工作包括更换发动机、飞机 50 h、100 h 周检、发动机 25 h、50 h 周检等工作。因此维修工作的计算应按照不同维修工作类别分别计算, 然后乘上所需人·小时, 加总后得到  $FM_i$ 。

### 2.3 飞机转场期间有寿件更换工作量的计算

有寿件可分为以日历年限有寿件、飞行小时有寿件和飞行起落有寿件, 因此有寿件更换次数的计

算应按照不同有寿件所属类别分别计算，然后乘上所需人时，加总后得到  $FY_i$ 。

### 3 实例分析

海军航空兵某甲类飞行团某型战斗机编制数为 16 架，实有数为 16 架，飞机定期检修周期平均为 33 d，规定定期检修时间为一个月，当年平均战备完好率为 62.6%。该飞行团计划于 2011 年 5 月 6 日出动 8 架飞机机动转场，每架飞机的相应参数如表 1 所示。

$$S = \bar{S} \times \left( 1 + \frac{\sum_{i=1}^4 K_i X_i}{4} \right)$$

平均取为 0.25，则该部队的飞机使用寿命战备储存量为：

$$S = 0.4 \times [1 + 0.25 \times (-1.00) + 0.25 \times (1.00) + 0.25 \times \frac{33}{30} + 0.25 \times (-0.63)] = 0.45$$

各架飞机的寿命差、转场期间维修工作量和有寿件更换工作量经计算列于表 1 的最后 3 列。

表 1 飞机参数

飞机编号	总飞行时间/h	转场期间飞行时间/h	转场前训练时间/h	阶段规定寿命/h	上次定检日期	寿命差/h	维修工作量/(人·h)	有寿件更换工作量/(人·h)
1	90	32	6	150	2011.4.8	20.2	26.5	7.2
2	89	32	8	120	2011.4.10	-8.5	22.2	10.5
3	100	32	5	150	2011.4.10	10.2	30.8	4.7
4	67	32	7	110	2011.3.10	1.2	12.9	7.4
5	79	32	7	110	2011.4.9	-7.2	25.4	9.7
6	82	32	8	150	2011.4.12	26.6	23.2	6.6
7	120	32	2	130	2011.4.12	23.1	27.1	5.9
8	57	32	4	110	2011.4.22	7.8	31.1	8.8
9	65	32	9	120	2011.4.12	12.7	16.2	6.3
10	92	32	3	120	2011.4.24	-6.3	25.7	9.2
11	90	32	6	150	2011.4.8	20.7	18.3	6.8
12	102	32	4	160	2011.4.16	21.4	20.6	7.1
13	76	32	8	120	2011.4.16	5.6	32.6	6.7
14	93	32	5	150	2011.4.18	19.5	15.8	7.6
15	58	32	7	100	2011.4.10	2.8	29.9	10.1
16	81	32	6	110	2011.4.20	7.6	19.5	7.4

将上述计算结果、飞机参数作为数据输入，并在 LINGO 软件中编写目标函数和约束条件的相应程序代码，执行程序后，可得到计算结果为：

目标函数值=0.69

选择的飞机(编号)依次为：7、11、12、1、14、9、3、6。

### 4 结束语

将该模型与转场载机架次预测模型<sup>[5]</sup>、空运装载模型<sup>[6]</sup>和转场时间模型<sup>[7]</sup>等相结合，可以开辟快速机动转场决策新途径，从而提高飞行团机动转场能力。

### 参考文献：

[1] 马乃苍, 祝华远, 盛飞. 某型飞机机动转场辅助决策系

统研究[J]. 航空维修与工程, 2003(4): 25-27.  
 [2] 韩增奇, 于俊杰, 王朝阳. 航空兵异地驻训航材需求预测模型[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(2): 35-37.  
 [3] 辛文遼, 陈新, 张洪. 某型飞机机动转场及战时维修工作研究[C]. 2001 年中国航空学会可靠性工程学术年会, 2001: 134-144.  
 [4] 蔺国民. 军用飞机机群继生阶段寿命与费用研究[D]. 西北工业大学, 2005: 17-21.  
 [5] 杨哲, 陈柏松, 罗艳春, 等. 基于 SVM 的航空兵空运转场载机架次预测研究[J]. 兵工自动化, 2009, 28(8): 38-39.  
 [6] 张军, 陈柏松, 王新虎, 等. 军事空运装载问题的禁忌搜索算法实现[J]. 国防交通工程与技术, 2010(6): 10-13.  
 [7] 郭霖瀚, 康锐, 曲丽丽. 装备系统转场时间计算方法研究[J]. 兵工自动化, 2009, 28(11): 89-92.