

doi: 10.7690/bgzdh.2016.01.024

## 航材可修件备用量需求优化研究

商兴华<sup>1</sup>, 马燕妮<sup>2</sup>

(1. 海军装备研究院, 上海 200235; 2. 中国人民解放军 91880 部队, 山东 胶州 266300)

**摘要:** 为降低航材可修件成本, 对其备用量进行优化研究。针对航材维修保障过程特点, 用多服务窗有备用品的排队理论对航材可修件状态转移过程进行建模, 仿真不同参数时相关目标值的变化情况, 并以此为基础分析航材可修件最优备用量。结果表明: 该模型可较为准确地模拟航材可修件的换修过程, 减少航材可修件备用量需求, 对实际工作中航材可修件备用量需求优化具有较好的指导作用。

**关键词:** 航材可修件; 备用; 需求; 优化

**中图分类号:** TJ07 **文献标志码:** A

## Research on Optimal Reserve Requirement of Repairable Air Material

Shang Xinghua<sup>1</sup>, Ma Yanni<sup>2</sup>

(1. Naval Academy of Armament, Shanghai 200235, China; 2. No. 91880 Unit of PLA, Jiaozhou 266300, China)

**Abstract:** In order to reduce the cost of repairable air material, the paper researches on its optimal reserve. In view of the characteristics of air material maintenance support process, a queuing theory of multi service window is used to model the state transfer process of the aircraft, and the relevant target values are simulated. The result shows that the model can simulate the repair process accurately and reduce the reserve level. The paper is useful for optimal reserve requirement of repairable air material.

**Keywords:** repairable air material; reserve; requirement; optimization

### 0 引言

经验型航材保障指保障工作由保障人员的经验决定, 这种保障方式缺乏科学依据, 会导致航材供应不合理: 某些航材长年不用形成积压, 不仅浪费资金, 而且造成仓储容量紧张; 而某些航材却因为储备不足造成待修飞机缺件。随着航空装备越来越复杂, 经验型航材保障已经不能满足装备对航材的需求, 如何合理有效地对航材进行保障已经成为一个迫切需要解决的问题。

由于航材可修件一般较为昂贵, 对其备用量需求进行优化研究显得尤为重要, 在工作中精确预测航材可修件备用量, 实现备件精确化保障, 减少航材可修件成本, 具有十分重要的意义。目前, 已有文献对航材可修件需求进行研究<sup>[1-3]</sup>, 但是文献[1-2]缺乏对航材可修件换修过程的模拟, 文献[3]虽采用多服务台的排队模型模拟了可修件的排队过程, 但未涉及维修组; 因此, 分析结果不够细致。实际上, 航材可修件的换修过程符合多服务窗有备用品的排队模型<sup>[4]</sup>; 基于此, 笔者构建此模型对航材可修件备用量需求进行优化研究。

### 1 假设与前提

为构建航材可修件换修过程的排队模型, 通过分析航材可修件的换修特点, 可以较为合理地提出

以下前提和假设:

1) 某航材可修件发生故障具有以下特点: ①在任何一段时间长度为  $t$  的时间区间内, 出现任意数量故障的概率只与时间  $t$  有关, 而与  $t$  所处的位置无关; ②在互不相交的 2 个时间区间  $T_1$ 、 $T_2$  内出现故障的航材件数量是相互独立的; ③在同一瞬间, 多于一个航材件发生故障的概率可忽略不计。由此可知: 航材件发生故障符合泊松流的特点<sup>[5]</sup>, 其发生故障的时间间隔  $T$  即航材件正常工作时间, 服从参数为  $\lambda$  的负指数分布。

2) 有  $n$  个维修组可对某航材件进行换修, 且一个维修组在一段时间内只负责修复一个航材件, 不会出现 2 个或多个维修组共同维修一个航材件, 或一个维修组同时修理多个航材件的情况, 且其修复某航材件的时间也服从参数为  $\mu$  的负指数分布。

3) 飞机停飞只与某航材件故障且缺件有关, 不考虑其他原因导致的停飞。

4) 不考虑串件维修。

### 2 模型的构建

假设有  $M$  架飞机, 每架飞机上有  $a$  个某航材可修件, 共  $m$  个某航材可修件, 有  $n$  个维修组可进行该可修件的修复工作, 该航材有备用件  $N$  件。如果该航材件发生故障, 则由备用件做替换, 而将修复

收稿日期: 2015-08-10; 修回日期: 2015-09-13

作者简介: 商兴华(1985—), 男, 河北人, 硕士, 工程师, 从事航空装备技术保障研究。

好的航材件作为备用。如果发生故障的航材件数量大于  $N$ ，则将导致飞机缺件而停飞。

由此，可构建某航材件状态强度的排队模型。

1) 当  $n \leq N$  时，航材可修件状态强度转移如图 1。其中：

- 0 状态表示没有航材件发生故障；
- 1 状态表示有 1 件航材发生故障， $N-1$  件作为备用；
- 2 状态表示有 2 件航材发生故障， $N-2$  件作为

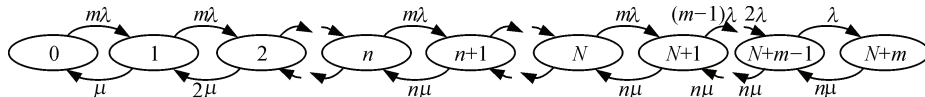


图 1  $n \leq N$  时航材可修件状态强度转移

2) 当  $n > N$  时，航材件状态强度转移如图 2，

其各状态概念与前述一致。

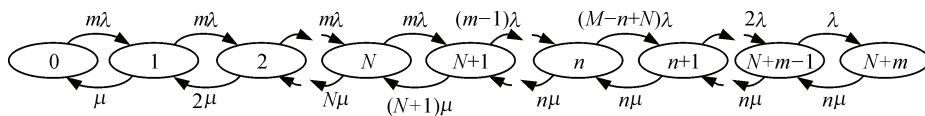


图 2  $n > N$  时航材件状态强度转移

### 3 模型的求解

1) 当  $n \leq N$  时。

由图 1 可知，在排队系统稳态下，有

- $m\lambda p_0 = \mu p_1$ ，则  $p_1 = m\lambda p_0 / \mu$ ；
- $m\lambda p_1 = 2\mu p_2$ ，则  $p_2 = m\lambda p_1 / 2\mu = m^2 \lambda^2 p_0 / (2! \mu^2)$ ；
- $m\lambda p_2 = 3\mu p_3$ ，则  $p_3 = m\lambda p_2 / 3\mu = m^3 \lambda^3 p_0 / (3! \mu^3)$ ；
- .....
- $m\lambda p_{n-1} = n\mu p_n$ ，则  $p_n = m\lambda p_{n-1} / n\mu = m^n \lambda^n p_0 / (n! \mu^n)$ ；
- $m\lambda p_n = n\mu p_{n+1}$ ，则  $p_{n+1} = m\lambda p_n / n\mu = m^{n+1} \lambda^{n+1} p_0 / (n! \mu^{n+1})$ ；

.....  
 $m\lambda p_N = n\mu p_{N+1}$ ，则  $p_{N+1} = m\lambda p_N / n\mu = m^{N+1} \lambda^{N+1} p_0 / (n^{N+1-n} \cdot n! \mu^{N+1})$ ；

$(m-1)\lambda p_{N+1} = n\mu p_{N+2}$ ，则  $p_{N+2} = (m-1)\lambda p_{N+1} / n\mu = m^N m(m-1) \lambda^{N+2} p_0 / (n^{N+2-n} \cdot n! \mu^{N+2})$ ；

.....  
 $\lambda p_{N+m-1} = n\mu p_{N+m}$ ，则  $p_{N+m} = m^N m! \lambda^{N+m} p_0 / (n^{N+m-n} \cdot n! \mu^{N+m})$ 。

因此

$$p_i = \begin{cases} m^i \lambda^i p_0 / (i! \mu^i), & 0 \leq i \leq n \\ m^i \lambda^i p_0 / (n^{i-n} \cdot n! \mu^i), & n+1 \leq i \leq N \\ m^N m! \lambda^i p_0 / (n^{i-n} (m-i+N)! n! \mu^i), & N+1 \leq i \leq N+m \end{cases} \quad (1)$$

由于  $\sum_{i=0}^{N+m} p_i = 1$ ,

备用；

.....

$N$  状态表示有  $N$  件航材发生故障，无备件；

$N+1$  状态表示有  $N+1$  件航材发生故障，无备件；

.....

$N+m-1$  状态表示有  $N+m-1$  件航材发生故障，无备件；

$N+m$  状态表示全部航材发生故障，无备件。

因此

$$p_0 = \left\{ \sum_{i=0}^n m^i \lambda^i / (i! \mu^i) + \sum_{i=n+1}^N m^i \lambda^i / (n! n^{i-n} \mu^i) + \sum_{i=N+1}^{N+m} m^N m! \lambda^i / [n! n^{i-n} (m-i+N)! \mu^i] \right\}^{-1} \quad (2)$$

由此，可计算出  $p_i (i = 0, 1, 2, \dots, N+m)$ 。

2) 当  $n > N$  时，采用上述分析方法同理可计算出  $p_i (i = 0, 1, 2, \dots, N+m)$ 。

3) 目标值。

由上述值，可得各相关目标值：

① 飞机完好率及即好不停飞的概率

$$p_{\text{良好}} = \sum_{i=0}^N p_i \quad (3)$$

② 航材平均备用量

$$n_{\text{备用}} = \sum_{i=0}^N p_i (N-i) \quad (4)$$

### 4 航材备件需求分析

假如有  $M=12$  架飞机，每架飞机上有  $a=1$  件某航材可修件，有  $n=4$  个维修组，航材备件数量为  $N=6$ ， $\lambda=1/12$ ， $\mu=1/8$ 。（由于一般情况下，航材备件的数量比维修组数量多，所以文中只讨论  $n \leq N$  的情况。若出现  $n > N$  的情况，只需将模型更换即可。）

1) 稳态时各状态概率的计算。

由 Matlab 软件可计算得到航材件稳态时各状态的概率，见表 1。

表 1 航材件各稳态状态概率

序号	状态	概率	序号	状态	概率
1	0 状态	0.000 0	11	10 状态	0.112 6
2	1 状态	0.000 0	12	11 状态	0.225 3
3	2 状态	0.000 1	13	12 状态	0.450 5
4	3 状态	0.000 3	14	13 状态	0.081 9
5	4 状态	0.001 8	15	14 状态	0.015 0
6	5 状态	0.003 5	16	15 状态	0.002 8
7	6 状态	0.007 0	17	16 状态	0.000 5
8	7 状态	0.014 1	18	17 状态	0.000 1
9	8 状态	0.028 2	19	18 状态	0.000 0
10	9 状态	0.056 3	—	—	—

2) 由飞机完好率确定备件数量。

在其他参数值一定的情况下，飞机完好率随航材备件数量变化情况见表 2。

表 2 飞机完好率随航材备件数量变化情况

序号	备件数量	完好率	概率增加值
1	4	0.844 2	—
2	5	0.878 0	0.033 8
3	6	0.890 0	0.012 0
4	7	0.895 1	0.005 1
5	8	0.897 5	0.002 4
6	9	0.898 7	0.001 2
7	10	0.899 2	0.000 5
8	11	0.899 5	0.000 3
9	12	0.899 6	0.000 1

图 3 更加形象地表示了不同备件数量时飞机完好率的变化。

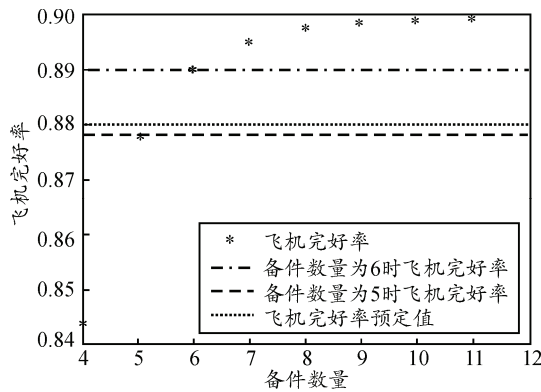


图 3 飞机完好率随航材备件数量变化情况

若要求飞机完好率  $p_{完好} \geq 0.88$ ，由图 3 可知，至少需准备航材备用件 6 件。进一步分析可知：在其他参数值一定的情况下，飞机完好率随航材备件数量的增加而不断提高，但提高的幅度越来越小。当备件数量较少时，用增加备件数量的方法提高飞机完好率可以得到较为理想的效果；但是当备件数量较多时，通过提高备件数量的方法来提高飞机完好率则不能得到较为明显的结果。并且，备件存储量的提高还应考虑备件成本和存储成本；因此应综合考虑飞机完好率和航材成本确定航材备件数量。

3) 故障率和修复率对平均备件数量的影响。

图 4 和图 5 分别反映了航材平均备用量对航材

故障率及修复率的影响。

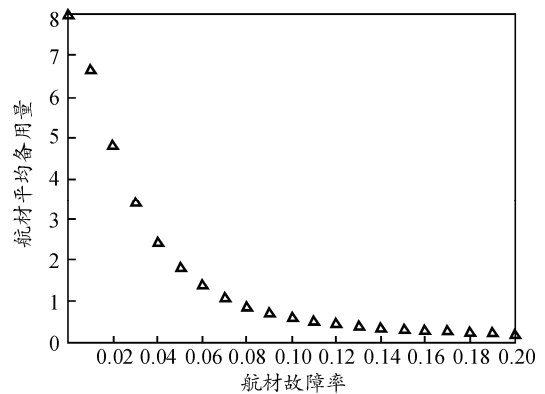


图 4 航材平均备用量随航材故障率变化情况

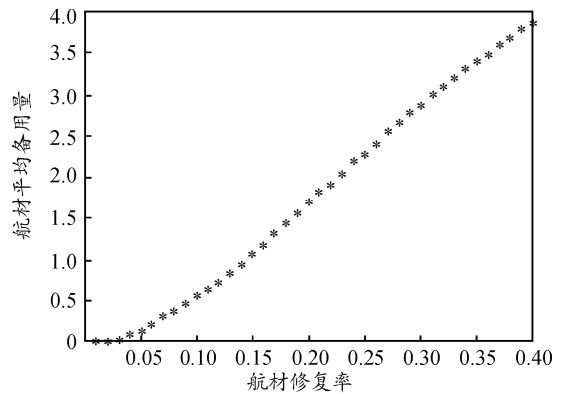


图 5 航材平均备用量随航材修复率变化情况

由图 4 和图 5 可知，航材故障率和修复率对航材平均备用量有较大的影响。随着航材故障率的提高，航材平均备用量不断降低；随着航材修复率的提高，航材平均备用量直线上升。因此，可采取降低航材故障率和提高航材修复率的方式，减少航材可修件备用量的需求预期。

4) 航材量及备件量最优组合分析。

通过该模型还可分析航材量及备件量的最优组合。图 6 为不同  $m$ 、 $N$  值下，飞机完好率的三维曲线图。

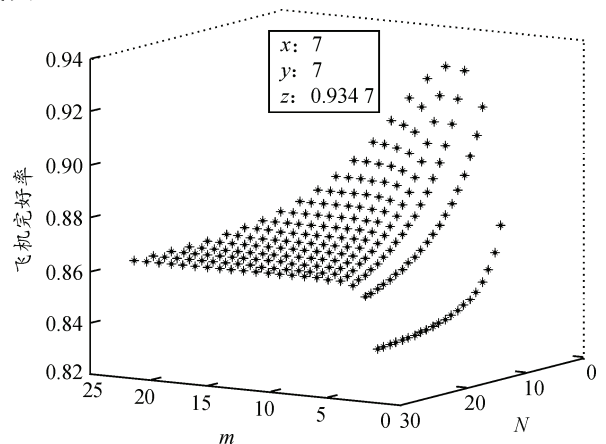


图 6 不同  $m$ 、 $N$  值下，飞机完好率变化情况