

具有最大可用度的航空备件供应模型

朱绍强¹, 李寿安², 李为吉¹, 王卓健²

(1. 西北工业大学航空学院, 陕西西安 710072; 2. 空军工程大学工程学院, 陕西西安 710038)

摘要:按照现代库存理论, 综合权衡备件经费与装备的最大可用度, 建立备件供应保障的优化模型。优化模型以备件经费为约束条件, 以装备的最大可用度为目标, 考虑到装备的可靠性、维修性和保障性, 以及部队的综合保障能力, 最终获取一个最优的备件分配方案。

关键词:备件供应; 可用度; 综合保障; 优化模型

中图分类号: V24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2005)02-0022-03

装备备件供应问题是装备供应保障分析的重要内容, 其本质是库存理论在装备备件问题上的具体应用。传统的装备备件供应问题研究用最小的储备量保证供应, 谋求“保证供应而又最小的储备量”。而现代库存理论认为库存控制的任务是通过适量的库存达到合理的供应, 实现总成本最低的目标。其关键性的突破在于放弃了“保证供应”, 允许缺货, 利用总成本最低来权衡决策。

1 模型建立

可用性的概率度量可用度, 一般表示为 $A = t_{MTBF} / (t_{MTBF} + t_{MTTR} + t_{MLDT})$ 。式中: A 表示装备可用度; t_{MTTR} 、 t_{MTBF} 和 t_{MLDT} 分别表示装备的平均修复时间、平均故障间隔时间和平均保障延迟时间。

使装备可用度最大是装备供应保障工作的终极目标, 但备件经费是有限的, 特别是在日常的战备训练阶段。因此, 在一定条件下, 备件供应保障应平衡和优化两个目标: ①使装备可用度最大; ②使备件供应保障所需费用最小。本文考虑建立一个两级备件供应保障模型, 以备件经费为约束条件, 以最大可用度为目标函数, 优化各级备件的存储量。

1.1 假设条件

假设有 n 个基层单位使用某型装备, 对该型装备实行两级维修与备件供应保障, 基层单位有基层级维修机构和备件库, 在基层级维修机构无法修复的情况下, 故障件可以送到中继级维修机构维修或到中继级备件库获取备件。该型装备由 m 个可修复部件组成, 为建立模型, 特作如下假设: ①备件需求服从泊松分布^[1]; ②当故障件从基层到达中继级维修时, 中继级维修及时维修, 而不是批量修理; ③ t_{MTTR} 、 t_{MTBF} 与备件供应保障无关, 因此假设它们是恒定的; ④ m 个可修复部件的重要程度相同; ⑤基层级与中继级维修机构的备件数据可以实现共享。

1.2 数学模型

模型的目标是装备的可用度最大, 约束条件是备件经费。计算装备的可用度时, 各个部件可以认为是串

联的, 则数学模型可以表示为 $\max \sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^m A_{s_{ij}}; s. t. \begin{cases} \sum_{j=1}^m C_j (s_{0j} + \sum_{i=1}^n s_{ij}) \leq B \\ i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \end{cases}$ 。式中: $A_{s_{ij}}$ 为第 i 个基层单位

中装备第 j 个部件的可用度; s_{0j} 和 s_{ij} 分别为第 j 个部件的中继级备件数和在第 i 个基层单位的备件数; C_j 为

收稿日期: 2004-07-12

基金项目: 国防预研基金资助项目(98H19.3.2.JB3201)

作者简介: 朱绍强(1964-), 男, 河北邯郸人, 高级工程师, 博士生, 主要从事飞机总体设计, 装备综合保障工程等研究。

第 j 个部件的价格; B 为备件经费限额。其中 $A_{s_{ij}}$ 可以表示为

$$A_{s_{ij}} = t_{MTBF,j} / (t_{MTBF,j} + t_{MTTR,j} + t_{MLDT,i,j}) \tag{1}$$

式中, $t_{MTBF,j}$ 、 $t_{MTTR,j}$ 分别为第 j 个部件的 MTBF、MTTR; $t_{MLDT,i,j}$ 为第 i 个基层单位第 j 个部件的平均保障延迟时间。

由于对于特定的部件其 MTBF 和 MTTR 是恒定的, 所以只要确定 MLDT 即可以计算出可用度。

1.3 MLDT 的计算

平均保障延迟时间是由于保障资源补给或管理原因未能及时对装备进行维修所延迟的时间的平均值。根据本文提出的两级备件供应体制, $t_{MLDT,i,j}$ 估算公式为^[2-3]

$$t_{MLDT,i,j} = (1 - r_{ij})(\eta_{ij}t_{ij} + (1 - \eta_{ij})(\eta_{0j}t_{0j} + (1 - \eta_{0j})t_{1j})) \tag{2}$$

式中: r_{ij} 为第 i 个基层单位第 j 个部件故障后, 不需要备件可以修复的概率; η_{ij} 为第 i 个基层级维修对第 j 个部件的备件满足率; t_{ij} 为从第 i 个基层级仓库获取第 j 个部件备件的平均反应时间; η_{0j} 为中继级维修对第 j 个部件的备件满足率; t_{0j} 为从中继级仓库获取第 j 个部件备件的平均反应时间; t_{1j} 为中继级购置第 j 个部件备件的平均时间。

基层级维修机构备件满足率 η_{ij} 的计算式为 $\eta_{ij} = \sum_{x_{ij} > s_{ij}} f(x_{ij})s_{ij}/x_{ij}$ 。式中: $f(x_{ij})$ 为 x_{ij} 的分布密度函数; x_{ij} 为第 i 基层单位第 j 个部件在一定时间内对备件的需求量, 它服从泊松分布^[1] $f(x_{ij}) = \begin{cases} e^{-a_{ij}t_{ij}}(a_{ij}t_{ij})^{x_{ij}}/x_{ij}! & x_{ij} = 0, 1, \dots \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$ 。式中: a_{ij} 为第 i 个基层单位第 j 个部件对备件的平均需求率, 用单位时间内某部件对备件的需求数量来度量, 可以根据装备的维修保障信息进行统计得到。

中继级维修机构备件满足率 η_{0j} 的计算式为 $\eta_{0j} = \sum_{y_j > s_{0j}} f(y_j)s_{0j}/y_j$ 。式中: $f(y_j)$ 为 y_j 的分布密度函数; y_j 为第 j 个部件在一定时间内对中继级备件的需求量, 服从泊松分布。 y_j 与 $f(y_j)$ 的表达式分别为 $y_j = \sum_{i=1}^n (x_{ij} - s_{ij})$; $f(y_j) = \begin{cases} e^{-a_{0j}t_{0j}}(a_{0j}t_{0j})^{y_j}/y_j! & y_j = 0, 1, 2, \dots \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$ a_{0j} 为中继级维修机构对备件 j 的平均需求率。

2 模型求解

有限经费下备件数量有限, 因此不同的分配方案也是有限的, 可以利用计算机逐个搜索的方法求解优化的备件分配方案。

1) 假设某种分配方案第 j 种备件的数量为 s_j , 第 j 种备件在第 i 个基层级维修机构的数量为 s_{ij} , 则在中继级维修机构的数量为 $s_j - \sum_{i=1}^n s_{ij}$, 因为备件需求服从泊松分布, 在给定 s_{ij} 的情况下, 计算出基层级维修机构备件满足率 η_{ij} 和中继级维修机构备件满足率 η_{0j} , 根据式(2) 可得到备件 j 在第 i 个基层级维修机构的 $t_{MLDT,i,j}$, 则可计算出可用度 $S_{s_{ij}}$ 。

2) 第 j 种备件的数量为 s_j 在各个基层单位和中继级的分配有多种组合, 通过编程对每个组合下的 $A_{s_{ij}}$ 进行计算; 把其它部件的可用度也同样地计算出来, 并搜索出使 $\sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^m A_{s_{ij}}$ 最大的组合; 那么就可得到该种分配方案下的各种备件在各个单位的最佳分配, 以及最大的可用度。

3) 重复上述步骤, 可以得到其他分配方案的可用度和具体的分配。比较各种方案的可用度, 选用使可用度最大的分配方案即可得解。

3 实例分析

现以一个一级备件供应保障系统实例来说明备件供应保障优化模型。已知某基层单位共有 5 台装备, 其维修与备件供应保障为一级, 该装备由 4 个可修复部件串联而成, 每个部件的 $t_{MTTR,j}$ 、 $t_{MTBF,j}$ 、 r_j 、基层获取备件反应时间 t_{ij} 、各备件购买时间 t_{0j} 以及备件价格 C_j 如表 1。根据资料统计, 每个备件的需求率为 a_j 为 $0.2k$, k 为

装备数。假设备件经费额为 10 000 元,计算在一定时间内使装备可用度最大的备件供应数量。

表 1 部件参数表

| 部件 | $t_{\text{MTTR}_j}/\text{h}$ | $t_{\text{MTBF}_j}/\text{h}$ | r_j | t_{1j}/h | t_{0j}/h | $C_j/\text{元}$ |
|----|------------------------------|------------------------------|-------|-------------------|-------------------|----------------|
| 1 | 1.5 | 100 | 0.5 | 1.0 | 2.0 | 500 |
| 2 | 2 | 250 | 0.7 | 1.0 | 2.5 | 700 |
| 3 | 2 | 300 | 0.8 | 1.2 | 2 | 800 |
| 4 | 1 | 200 | 0.85 | 0.9 | 1.8 | 450 |

根据公式(1)、(2),可以得到每个部件的可用度表达式为

$$A_{s_j} = \frac{t_{\text{MTBF}_j}}{t_{\text{MTBF}_j} + t_{\text{MTTR}_j} + (1 - r_j)(f(s_{1j})t_{1j} + (1 - f(s_{1j})t_{0j}))} \quad (3)$$

式中, s_{1j} 为部件 j 的备件数, $f(s_{1j})$ 为 s_{1j} 的函数 $f(s_{1j}) = \sum_{x_j > s_{1j}} e^{-a_j t_{1j}} (a_j t_{1j})^{x_j} S_{1j} / x_j x_j!$, $x_j = s_j, s_j + 1$ 。

装备的可用度为各部件可用度之积,从式(3)可以看出,未知参数只有 s_{1j} ($j=1 \sim 4$),而它受备件经费限制,并且考虑到实际条件的限制,各种备件数量只有若干种组合,采用计算机自动搜索,可以得到备件数量组合为(6,4,4,2)时,装备的可用度最大。

4 结论

本文研究在一定备件经费限额下建立具有最大可用度的备件供应保障模型。该备件供应保障模型既考虑了装备的可靠性、维修性和保障性,又考虑到部队的综合保障能力,最终优化了备件的供应方案,对部队装备的维修保障具有积极的意义。

参考文献:

- [1] 付兴房,李继军,李宗植. 基于两级供应关系的可修复航材存储策略模型研究[J]. 系统工程理论与实践,2004,24(2): 111-115.
- [2] 任建军. 军用飞机可靠性、维修性、保障性指标论证方法研究[R]. 西安:空军工程大学,2003.
- [3] 宋太亮,任欣欣,何成铭. 保障资源延误时间建模研究[R]. 北京:装甲兵工程学院,2001.
- [4] 刘 隽,曾声奎. 系统可靠性建模技术综述[J]. 可靠性工程,2003,2(3):97-102.
- [5] 范英利,汪定伟. 求解模糊目标/资源问题的拟人化算法[J]. 系统工程学报,1998,13(1):75-80.
- [6] Pauls, Mcclish. An Analytic Tool for Planning and Predicting Aircraft Spares Support [R]. ADA 142660,1982.

(编辑:姚树峰)

A Spare Parts Providing Model with the Maximal Availability

ZHU Shao - qiang¹, LI Shou - an², LI Wei - jil, WANG Zhuo - jian²

(1. Northwestern Polytechnical University, Xi'an, Shaanxi 710072, China; 2. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China)

Abstract : An optimal model of spare parts is set up according to modern stock theory and tradeoff between the cost of spare parts and the maximal availability of the materiel. The optimal allocation plan of spare parts is got by the optimal model with the constraints of the cost of spare parts, the objective of the maximal availability of materiel, reliability, maintainability and supportability of the materiel, and the ability of integration logistic support.

Key words : spare parts providing; availability ; logistic support ; optimal model