

基于可用度和费用要求的航材备件储备量优化

刘源, 陈云翔, 周中良, 党伟

(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要:针对不同要求下的航材备件储备量问题,依据军事效益和经济效益最佳的原则,分别建立了以可用度为中心和以费用为中心的备件储备量优化模型,给出了以备用购置费用为主要费用衡量指标的备件储备费用模型,并假设备件需求服从故障率为 λ 泊松过程,修理时间服从均值为 T 的同一分布,运用帕尔姆定理给出了以期望缺货数为服务平衡量指标的飞机可用度模型。最后以期望短缺数的边际增量和备件单价的比值作为边际效益返回值,运用边际分析的方法对备件储备量进行迭代计算,求得满足要求的模型最优解。通过具体案例的分析和比较,说明了此方法对权衡费用和有效度之间关系的有效性。

关键词:可用度;费用;边际分析

DOI:10.3969/j.issn.1009-3516.2009.06.004

中图分类号: V37 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2009)06-0015-04

备件是航空装备实施维修的重要物资资源之一,是平时保证装备完好的战备状态,战时保持和恢复装备战斗力的重要因素。备件储备量的多少直接影响部队的作战能力。由于备件费用昂贵,随着装备更新换代的加快和训练任务的加重,航材保障经费短缺日益严重。因此,备件储备过多又会造成不必要的浪费。如何合理地确定备件的数量,已成为装备综合保障领域研究的难点。

目前,很多学者对此问题做了大量的研究,主要是以系统有效度最大为目标、以费用限制为约束来建立储备量优化模型^[1-7]。本文针对不同背景下的备件储备量问题,分别建立了以可用度为中心和以费用为中心的航材备件储备量优化模型,并通过具体实例的分析,说明了此方法对实现装备的精确保障具有重要的现实意义。

1 备件储备量优化模型

在战时,任何事务都要以军事效益为主。由于战争的消耗极大,而国家所能承担的经济负担有限,美国在总结近几场战斗中的损失时,提出了精确保障与经济可承受性的思想,即在经济可承受的范围内,实现军事效益的最大化。

平时主要是完成飞行训练与执勤工作,需要一定的飞机可用度作为保障,此时重点考虑保障费用,即在满足飞机可用度的同时实现经济效益最大化。

根据不同目标的要求,可建立以下2种备件储备量优化模型。

模型1:以飞机可用度为目标函数,保障费用为约束条件:

$$\begin{cases} \max A \\ \text{s. t.} & E \leq E_m \end{cases} \quad (1)$$

* 收稿日期:2009-06-25

基金项目:航空科学基金资助项目(20085196011)

作者简介:刘源(1982-),女,安徽巢湖人,博士生,主要从事装备采购与项目管理研究;E-mail:ly52612@163.com
陈云翔(1962-),男,江苏南京人,教授,博士生导师,主要从事装备采购与项目管理、装备发展战略与管理决策研究。

模型2:以保障费用为目标函数,飞机可用度为约束条件:

$$\begin{cases} \min E \\ \text{s. t.} & A \geq A_0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: A 为飞机可用度; A_0 为要达到的最低飞机可用度; E 为备件保障费用; E_m 为备件保障总费用限额。

2 可用度及费用模型

2.1 可用度模型

飞机的可用度是指任意时刻飞机处于完好状态的概率。当飞机的某一项或几项关键器材发生故障时,机务保障维修部门需要向航材股提出备件申请。如果发生缺货,则必须等待满足缺货后向其发付备件。在此期间,飞机处于不完好状态。因此,飞机的可用度可用某一随机时间机群中未因短缺备件而停飞飞机所占的期望百分比表示^[8]。假设任何备件短缺一次都将引起停飞,则:

$$A = \prod_{i=1}^I \{1 - E_{Bo_i} / (MZ_i)\}^{Z_i} \quad (3)$$

式中: Z_i 为第*i*项器材的单机安装数, M 是机群的飞机架数; E_{Bo_i} 为第*i*项备件的期望缺货数。

期望缺货数的计算公式为:

$$E_{Bo_i}(B | S_i) = \sum_{X_i=S_i+1}^{\infty} (X_i - S_i) P_r(X_i = x) \quad S=0, 1, \dots, N \quad (4)$$

式中: X_i 为第*i*项器材的需求量; S_i 为第*i*项器材的储备量; $P_r(X_i = x)$ 为所需补充供应备件的概率; B 为缺货数。

假设:①各备件的重要程度相同,且备件需求服从故障率为 λ 的泊松过程;②故障的维修时间相互独立,并服从均值为 T 的同一分布。根据帕尔姆定理^[9],所需补充供应备件的概率为:

$$P(x) = (\lambda T)^x \frac{e^{-\lambda T}}{x!} \quad x=0, 1, \dots, N \quad (5)$$

2.2 费用模型

备件储备费用主要包括购置成本、订购成本、储存成本和缺货成本^[10]。由于备件成本昂贵,购置成本占总成本的比重最大,约60% - 70%。因此,本文主要讨论备件购置成本对备件储备量决策的影响。备件储备量 $S = (s_1, s_2, \dots, s_i)$,备件单价 $C = (c_1, c_2, \dots, c_i)$,备件的购置成本可表示为:

$$SC^T = E_m \quad (6)$$

把式(3)和式(6)带入模型1和模型2,即可对模型进行求解计算。

3 算法分析

上述模型都属于非线性规划问题。由于飞机备件的种类较多,使用一般的规划论方法求解,过程较为复杂,因此本文采用边际分析法进行优化求解。

边际分析法的实质是效费比分析^[10]。假设每项备件初始储备量为零,根据存储备件的经费计算出哪些备件应得到最充分的保证(即最低缺货数)。以开支金额计算缺货费,由于一些备件能最大限度地降低总缺货费,因此就要增加这些备件的储备量,即用期望短缺数的边际增量除以备件单价所得的最大值作为边际效益返回值,并给对应的备件追加一件。边际效益的表达式可写为:

$$v = [E_{Bo}(s-1) - E_{Bo}(s)] / c \quad (7)$$

基于边际分析法求解模型的步骤流程见图1。

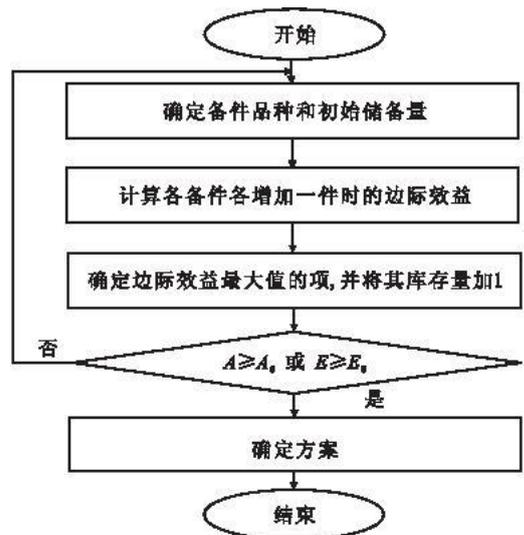


图1 流程图

Fig. 1 Critical chain

4 实例分析

在明确了飞机可用度与备件保障经费的关系后,根据备件保障年度的训练和作战计划及经费情况,确定出备件保障首要满足可用度要求还是经费要求。通常,保障平时飞行训练时,备件存储应在保证一定飞机可用度的前提下使保障经费最少,而在战时则需要保证尽可能大的飞机可用度。若首要满足可用度要求,则可用模型 2 计算,若是经费约束则可用模型 1 计算。

某飞行团有某型飞机 10 架,为简化问题,假定该装备由 2 个主要部件组成,器材的单机安装数为 1,且服从式(1)定义的泊松分布。现根据该团 3 年内备件消耗的数据,计算备件保障费用不超过 25 万元、飞机可用度不小于 0.95 的备件储备方案。有关参数见表 1。

表 1 备件储备量模型的数据实例

Tab.1 The calculated values by the model of spares storage level for an example

| | 年平均需求 | 平均修理时间/a | 单价/万元 | s | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|----------|-------|-------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| | | | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| 备件 1 | 10 | 0.1 | 5 | $E_{Bo}(s)$ | 1 | 0.368 | 0.023 | 0.004 | 0.001 | | | | | | | |
| | | | | v | | 0.126 | 0.053 | 0.016 | 0.004 | | | | | | | |
| 备件 2 | 50 | 0.08 | 1 | $E_{Bo}(s)$ | 4 | 3.018 | 2.110 | 1.348 | 0.782 | 0.410 | 0.195 | 0.085 | 0.034 | 0.012 | 0.004 | |
| | | | | v | | 0.982 | 0.908 | 0.762 | 0.567 | 0.371 | 0.215 | 0.111 | 0.051 | 0.021 | 0.008 | |

根据表 1 的数据分析,运用边际分析法可求得当总保障费用不超过 25 万元,可用度不小于 0.95 的备件 1 和备件 2 储备量的几种组合,见表 2。为了说明方法的有效性,再将总费用在 25 万元时可能的备件组合下的可用度和总费用做一比较,见表 3。

表 2 满足条件下的备件储备方案

Tab.2 The projects of spares storage in limited bound

| s_1 | s_2 | A(%) | E/万元 |
|-------|-------|------|------|
| 1 | 7 | 95.5 | 12 |
| 2 | 7 | 98.9 | 17 |
| 2 | 8 | 99.4 | 18 |
| 2 | 9 | 99.7 | 19 |
| 3 | 9 | 99.8 | 24 |
| 3 | 10 | 99.9 | 25 |

表 3 同费用下的储备方案对比分析

Tab.3 Compare projects at the same cost

| s_1 | s_2 | A(%) | E/万元 |
|-------|-------|------|------|
| 5 | 0 | 60 | 25 |
| 4 | 5 | 95.8 | 25 |
| 3 | 10 | 99.9 | 25 |

通过对比分析,可以清楚地看出:,总费用为 25 万元时,第三种储备方案最优,与边际分析法求出的结果一致。由此可知,表 2 中的各备件储备量组合为最优储备方案。可用度和费用最优关系曲线见图 2。图中曲线上的各离散点,是在规定费用条件下的最高可用度,与该可用度下的最低费用意义相同。

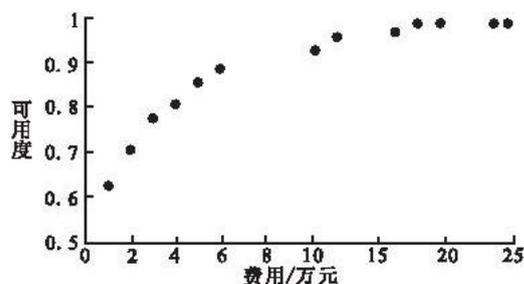


图 2 可用度和费用关系曲线

Fig.2 The relation between the cost and the availability

5 结束语

本文通过对战时和平时备件保障原则和要求的分析,将飞机可用度和备件保障费用联系在一起,建立了以可用度为中心和以费用为中心的航材备件储备量优化模型。该分析模型为评估飞机作战能力与备件保障间的关系、确定最优库存需求量提供了一种切实有效的方法。但本文为了简化问题,假设备件的重要程度相同,且故障的维修时间相互独立。实际工作中并非如此,备件的重要程度是有区别的,故障的维修时间也是相互关联的。对于重要程度不同以及故障维修时间相互关联的备件储备量问题,下一步将继续进行研究。

参考文献:

- [1] 马保国, 张继强, 刘长新. 航材可修件复合泊松需求下的库存决策[J]. 中国管理科学, 2004, 12(6): 77-80.
MA Baoguo, ZHANG Jiqiang, LIU Changxin. The Stock Decision of Repairable Air Material under Compound Poisson Demand [J]. Chinese Journal of Management Science, 2004, 12: 77-80. (in Chinese)
- [2] Jinmei Liu, Hui Gao, Jun Wang. Air Material Inventory Optimization Model Based on Genetic Algorithm [C]//Proceedings of the 3rd World Congress on Intelligent Control and Automation. Hefei: IEEE Press, 2000: 1903-1904.
- [3] 杜俊刚, 杜鑫, 何亚群. 基于飞机使用可用度的航材二级库存优化配置[J]. 兵工自动化, 2009, 28(1): 39-44.
DU Jungang, DU Xin, HE Yaqun. Premium Allocation of Spare Inventory in Two-echelon Supply System Based on Aircraft Operational Availability [J]. Ordnance Industry Automation, 2009, 28(1): 39-44. (in Chinese)
- [4] 朱一飞, 黄国策. 备件储备量的马尔可夫决策模型研究[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2001, 2(2): 91-94.
ZHU Yifei, HANG Guoce. Markovian Decision Programming Model Study on Spare Parts Inventory [J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2001, 2(2): 91-94. (in Chinese)
- [5] 刘拥辉, 花兴来, 叶安健. 一种装备备件配置的优化方法[J]. 空军雷达学院学报, 2003, 12(4): 48-52.
LIU Yonghui, HUA Xinglai, YE Anjian. Optimazation of Equipment Spare Parts Allocation [J]. Journal of Air Force Radar Academy, 2003, 12(4): 48-52. (in Chinese)
- [6] 张建宇, 韩国柱, 陈明. 武器系统备件储备量的遗传算法求解[J]. 军械工程学院学报, 2005, 17(3): 36-38.
ZHANG Jianyu, HAN Guozhu, CHEN Ming. Decide the Spare Parts' Reserves of Weapon Systems by Using the Method of Genetic Algorithms [J]. Journal of Ordnance Engineering College, 2005, 17(3): 36-38. (in Chinese)
- [7] 周江华, 肖刚, 苗育红. 备件供应规划中的最优储备问题分析[J]. 机械强度, 2004, 26(3): 270-273.
ZHOU Jianghua, XIAO Gang, MIAO Yuhong. Analysis of Optimal Spare Supply Programming [J]. Journal of Mechanical Strength, 2004, 26(3): 270-273. (in Chinese)
- [8] Sherbrooke Craig C. Optimal Inventory Modeling of Systems Multi-Echelon Techniques (Second Edition) [M]. Norwel: Kluwer Academic Publishers, 2008: 30-31.
- [9] Dinesh Kumar U. Reliability Maintenance and Logistic Support: A Life Cycle Approach [M]. Norwel: Kluwer Academic Publishers, 2000: 56-62.
- [10] 韩兴才. 航材管理工程 [M]. 北京: 蓝天出版社, 2003: 136-211.
HAN Xingcai. Air Materiel Management Engineering [M]. Beijing: Blue Sky Publishers, 2003: 136-211. (in Chinese)

(编辑: 姚树峰, 徐敏)

Optimization Research on Aviation Spares Reserves Based On Availability and Cost Requirement

LIU Yuan, CHEN Yun-xiang, ZHOU Zhong-liang, DANG Wei

(Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract: In the light of the issue of storage level of aviation spares with different requirements, the optimal models of spares storage level based on the availability centered and the cost centered are established respectively according to the benefit optimal principle of military and economy. The inventory cost model is given, in which the purchasing cost is a master cost index. Assuming that the spares demand is a Poisson distribution with intensity λ , and the spares repair time is identical distribution with mean T . Then the availability model is given by Palm's theorem, in which the expected backorder is the scale index. And spares quantity is confirmed by iterative calculation, according to the marginal analysis method, in which the return value of marginal utility is the ratio of marginal increment and unit price for spares. Finally, it shows that the model and method are effective in balancing the relation between efficiency and cost through the analysis and comparison of particular cases.

Key words: availability; cost; marginal analysis