

文章编号:1674-8190(2015)01-077-05

基于延误时间成本的航材备件采购方案研究

宋文静¹, 易华辉²

(西北工业大学 航空学院, 西安 710072)

(中国人民解放军装备学院 装备采办系, 北京 101416)

摘要: 航材是保障飞机完好率、增进航空兵部队作战训练效能的重要军需物资, 航材部门必须储备一定数量的备件, 以保证部队对航材的需求, 如何科学地确定采购航材的品种和数量是一个备件采购策略问题。首先分析备件保障流程中备件延误时间和订购数量的关系, 然后从效费比的角度研究备件保障延误时间与备件成本的关系, 最后提出基于平均备件保障延误时间成本的备件采购方案, 并以美国 B-1B 飞机航材备件采购为例, 对三种不同的采购策略进行计算分析。结果表明: 基于保障延误时间成本制定的航材备件采购方案是可行的, 并优于其他两种采购方案。

关键词: 航材备件; 延误时间; 效费比; 采购方案

中图分类号: V215.7

文献标识码: A

Study on the Purchase Strategy of the Air Material Spare Parts Based on Its Delay Time Cost

Song Wenjing, Yi Huahui

(School of Aeronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

(Department of Equipment Acquisition, Academy of Equipment, The Chinese People's Liberation Army, Beijing 101416, China)

Abstract: Air material is an important military supply to protect the integrity ratio of aircraft and to enhance the operational efficiency of air force. The air material department must reserve a certain number of spare parts, in order to ensure the demand of air materials. How to scientifically determine the variety and quantity of air material procurement is a strategy problem about procurement of spare parts. Firstly, from the prospective cost-effective ratio, the relation between spare parts' delay time and their costs is researched. Then the purchase strategy and simulation methodology of spare parts are provided. Finally, take B-1B bomber as an example, the results under different purchase strategies are computed by the simulation method. The results show that maintenance cost based on this strategy is feasible, and better than the other two procurement scheme.

Key words: air material spare parts; delay time; cost-effective ratio; purchase strategy

0 引言

每架飞机装有数百万个零件, 通常消耗的器材有几千种。飞机各系统的部件在工作过程中, 不可避免地发生故障, 需要备用部件去更换已发生故障

的部件。因此, 航材部门必须储备一定数量的备件, 以保证部队对航材的需求^[1]。航材备件是缩短航空装备维修时间、预先储存以备更换的航空器材的统称。航材备件作为空军装备综合保障的要素之一, 在很大程度上制约着飞机完好率。即航材备件是飞机维修保障的核心物质基础, 是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^[2]。随着武器装备更新换代的加快, 飞机价格日益攀升, 各类航材备件也变得更加昂贵。目前,

收稿日期: 2014-08-29; 修回日期: 2014-10-13

通信作者: 宋文静, dancemoon57@nwpu.edu.cn

航材备件保障经费短缺与采购数量不足的矛盾变得更加突出。

航空备件由于功能、故障对全机的影响以及备件价格与修理特性等各不相同,在管理和采购方面必须区别对待、分类处理。通常飞机备件可分为可修复件和不可修复(消耗)件。可修复件数量不多,但价格昂贵,占总费用的 85%。刘照青等^[3]以使用可用度作为评价管理保障质量指标,结合经费约束,提出了基于使用可用度的可修件备件管理预测模型;朱绍强等^[4]研究了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,优化了备件的供应方案;伏洪勇等^[5]针对飞机备件供应中的供应原则和备件费用增长特征,探讨了机群备件费用与使用可用度之间的定量关系;阮旻智等^[6]针对目前军事装备典型的三级供应模式,根据协同供应链系统订购理论,以装备可用度为中心,建立了(R,Q)库存策略下的备件协同订购模型。

本文从效费比的角度研究各类航材备件采购成本对备件延误时间的影响,并通过实例用不同的采购策略进行分析,研究结果对提升飞机可用度、降低备件保障延误时间和有效利用备件采购经费具有重要的意义。

1 备件延误时间和订购数量的关系

美国海军将平均后勤保障延误时间(Mean Logistic Delay Time,简称 MLDT)分为平均供应反应时间、平均申请反应时间和平均等待外界帮助时间等^[3]。备件的保障水平是影响保障资源延误时间中的主导因素,其他因素(等待维修、技术人员、技术资料、保障设备或其他因素)引起的延误时间可通过修正系数求取^[7]。根据 GJB 451A 的定义,备件延误时间是由于飞机备件补给原因造成飞机执行任务延误的时间。

1.1 飞机使用可用度

使用可用度是飞机所处的工作环境下在一个任务期间的任何时刻能立即去执行的概率,与后勤保障有很大的联系。使用可用度与后勤保障的关系:

$$A_0 = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MLDT} \quad (1)$$

式中:MTBF 为平均无故障间隔时间;MTTR 为

平均维修时间;MLDT 为平均后勤故障延误时间。

可见 MLDT 是影响飞机的使用可用度的因素之一,MLDT 的大小由航材保障能力决定,而备件的配置情况是保障中的关键,因为备件的配置方法和配置数量直接影响使用可用度的大小,从而影响飞机使用。

1.2 备件供应保障过程分析

航材备件指为保持和恢复航空装备性能所必需的用于更换的零、部件或替换件,可分为可修复件和不可修复件^[8]。飞机备件供应保障过程与飞机维修体制密切相关。目前军用飞机维修体制主要分为三级维修体制和两级维修体制,以两级维修体制为例,备件供应保障流程(如图 1 所示)为:若装备中某部件发生损伤,则立即被拆下送往基层级维修部门,基层级库存中若有该备件,则立即替换,否则向基地级库存领取该类备件;对于替换下的故障备件,基层级修理部门首先判断该故障是否可以在本级修理,若可以修复,则进行修理并将修复件送往本级储存,否则将该故障备件送往基地级修理部门修理;同时,从基地级库存领取该类备件送到基层级储存,基地级库存若没有该备件,则重新进行采购;最后,基地级修理部门判断该故障备件是否能修复,若能则修复并储存于该级,若不能,则返回厂家报废,重新购置备件,送往基地级储存^[9]。

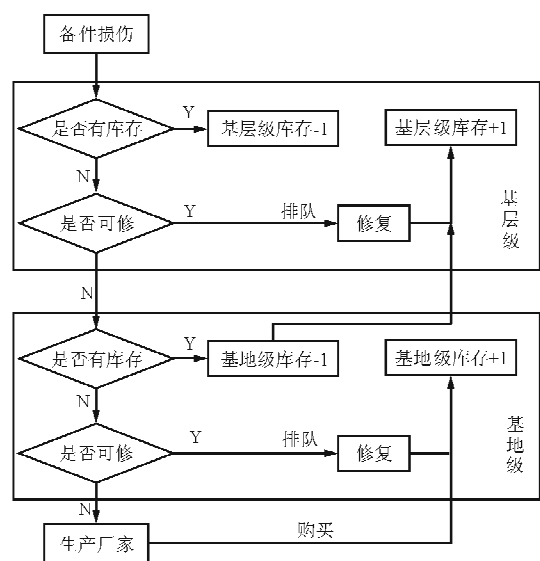


图 1 两级维修体制下备件保障流程
Fig. 1 Flow of spare parts based on the two-stage maintenance system

三级维修体制中备件保障流程与两级维修体制流程大致相同,所不同的是中继级维修部门的加入使得备件修理和库存增加一个层次。

1.3 备件延误时间输入条件

在研究航材备件保障规律时,仿真方法能够有效解决数据缺乏的问题。在进行备件保障仿真时,需确定输入条件。实际飞机维修保障中,影响备件延误时间的因素很多,但最主要的因素有三个:备件库存率、故障备件维修服务时间、备件故障间隔时间^[10]。

1.3.1 备件库存率

备件库存率可定义为

$$\eta = \frac{N_{\text{nsi}}}{N_{\text{UF}}} \quad (2)$$

式中: N_{nsi} 为备件发生损伤后某级库存中储备该备件的数量; N_{UF} 为故障发生的次数。

1.3.2 故障备件维修服务时间

故障备件维修服务时间通常包括排队时间和修理时间。排队时间即多个故障部件进入同一维修机构时,在前一修理未完成时,后一修理所需等待的时间,排队时间与维修机构维修能力强弱、维修人员人数有关。修理时间即维修故障备件所需时间,通常服从对数正态分布 $\text{Lognormal}(\mu, \sigma)$ ^[11]。其概率密度函数为

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

1.3.3 备件故障间隔时间

在使用期间,军用飞机上部件的故障率可近似为一个常数 λ :

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (4)$$

式中: λ 为平均故障率; $MTBF$ 为平均无故障间隔时间。

2 备件保障延误时间成本

若将备件保障延误时间的减少量作为一种收益,备件延误时间成本实质上是研究备件采购成本的增加与备件保障延误时间减少量的效费比。根据效费比的定义,效费比(效能—费用比)指装备现

有状态与将来状态时得到某种效益与付出的费用成本的比值,即效费比 CER 。

$$CER = \frac{Cost_{\text{future}} - Cost_{\text{current}}}{Effect_{\text{future}} - Effect_{\text{current}}} \quad (5)$$

建立的基于备件保障延误时间成本的效费比 CER 为

$$CER = \frac{\bar{C}_s}{MLDT_s} \quad (6)$$

式中: \bar{C}_s 为平均单位备件成本; $MLDT_s$ 为平均备件延误时间。

式(6)也可称为平均备件保障延误时间成本,通过计算各类备件的平均备件保障延误时间成本,选择适当的采购策略和有限的资金最大程度地降低备件保障延误时间。

3 案例分析

有关数据表明,美国 B-1B 飞机近年来飞机可用度一直偏低,备件保障造成的时间延误是一个重要原因。本文以该飞机为例,研究不同航材备件采购方案对飞机可用度的提升效果。

3.1 平均备件保障延误时间成本仿真

从 B-1B 飞机备件库中选择六类典型备件进行仿真,依据相关数据,按照三级维修体制对备件保障流程运行仿真,分别得出每类备件的采购数目、备件延误时间的平均值,20%置信上下限,如表 1 所示。去除价格因素,每类备件单位成本折合为 2010 年币值,如图 2 所示。根据备件保障时间延误成本计算公式,求得平均备件保障时间延误成本,如图 3 所示。

表 1 备件保障仿真输出结果

Table 1 Simulation results of spare parts support

| 备件 编号 | 订货数目 | | | 平均备件保障延误时间 | | |
|----------|-------|-------|-------|------------|--------|--------|
| | 置信下限 | 均值 | 置信上限 | 置信下限 | 均值 | 置信上限 |
| 1001 | 20.02 | 20.59 | 21.16 | 130.41 | 202.53 | 235.23 |
| 1002 | 17.23 | 17.75 | 18.27 | 164.75 | 180.79 | 186.76 |
| 1003 | 47.17 | 48.07 | 48.97 | 54.00 | 54.00 | 54.00 |
| 1004 | 4.52 | 4.81 | 5.10 | 175.49 | 184.72 | 192.38 |
| 1005 | 7.21 | 7.57 | 7.93 | 177.66 | 202.10 | 210.12 |
| 1006 | 6.00 | 6.38 | 6.76 | 132.94 | 175.34 | 191.24 |

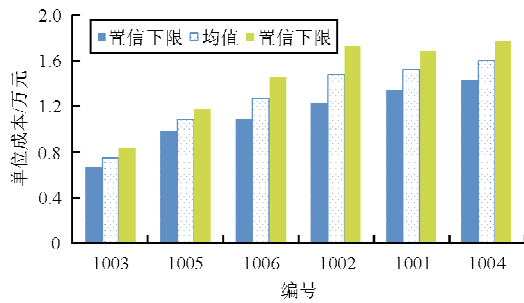


图2 六类典型备件的单位成本

Fig. 2 Unit cost for 6 class spare parts

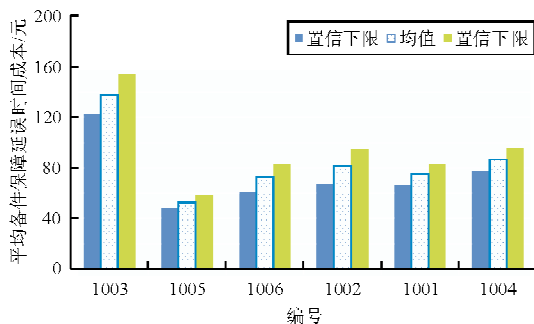


图3 六类典型备件的平均备件保障延误时间成本

Fig. 3 Average cost of spare parts' delay time for 6 class parts

3.2 效费分析

从图2~图3可以看出,以单位备件成本和平均备件保障延误时间成本对备件进行排序,其结果不同。例如,备件1003单位成本最低,但其平均备件保障延误时间成本最高,表明从备件保障的角度看,需保证飞机不发生备件原因引起的保障时间延误,备件1003花费成本最高,即同等资金下采购备件,采购1003得到的保障时间延误效益最低,其次是备件1004、1002、1001、1006、1005。

从有效利用资金的角度考虑,优先采购平均备件保障延误时间成本较低的备件收益比采购平均备件保障延误时间成本较高的备件收益大。

在制定采购方案时,为了合理利用资金,有效提高飞机可用度,可优先采购平均备件保障时间成本最低的备件,继而采购平均备件保障延误成本次低的备件,以此类推,直至资金消耗完毕。

为了体现某类备件采购对备件保障延误时间的减少值,定义平均备件保障延误时间减少量。

$$\bar{\Delta}_{MLD} = \frac{Cost_{purchase}}{CER} \quad (7)$$

式中: $Cost_{purchase}$ 为采购成本。

3.3 采购实例

给定采购资金1 000 000货币单位,对上述六类航材备件依据平均备件保障成本提出以下三种采购方案:

(1) 方案A:按照平均备件保障延误时间成本制定的采购方案进行采购。

(2) 方案B:按照单位成本由低到高进行采购。

(3) 方案C:按照平均数量进行采购。

采购完毕,对比采购量、采购成本和平均备件保障延误时间,如表2所示。

表2 采购策略对比分析

Table 2 Comparative analysis of purchase strategies

| 采购策略 | 总定货量 | 采购成本 | 平均备件保障延误时间减少量 |
|------|------|----------|---------------|
| 方案A | 79 | 999140.6 | 14555 |
| 方案B | 90 | 1000394 | 13691 |
| 方案C | 84 | 1075818 | 13983 |

从表2可以看出:在资金量一定的情况下,方案A明显优于其他两种方案,其既能有效利用资金,又能最大程度地提升飞机可用度;方案A采购数量最小,方案B采购数量最多,但对平均备件保障延误时间的减少量方案A明显高于其他两种方案。

航材备件千差万别,种类繁多,上述内容只是对六类航材备件进行采购方案的优化,若将航材备件类别进一步扩大,利用平均备件保障延误时间成本采购策略的优势将会进一步放大。

4 结论

(1) 本文从效费比的角度研究了航材备件采购成本对备件延误时间的影响,通过实例分析得到了基于平均备件保障延误时间成本的备件采购方案优于其他两种方案。

(2) 本文提出的采购策略并非一种直接的采购资金与飞机备件保障延误时间的关系,只是在有

限资金条件下为了有效提高资金利用效率,提升飞机可用度的一种思路,在实际决策时需要与其他采购策略和方法综合权衡才能达到最有效的效果。

参考文献

- [1] 傅涛, 杨勇智. 航空备件订购策略研究[J]. 航空维修与工程, 2005(2): 33-34.
Fu Tao, Yang Yongzhi. Research into aviation spare part procurement police [J]. Aviation Maintenance and Engineering, 2005(2): 33-34. (in Chinese)
- [2] 徐宗昌. 装备保障性工程与管理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
Xu Zongchang. Engineering and management of equipment support [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006. (in Chinese)
- [3] 刘照青, 刘洋, 王端民. 基于使用可用度的航材备件预测模型及需求分析[J]. 航空计算技术, 2007, 37(5): 38-41.
Liu Zhaoqing, Liu Yang, Wang Duanmin. Aeronautic spare parts supervise model based on operating availability & demand analysis [J]. Aeronautical Computing Technique, 2007, 37(5): 38-41. (in Chinese)
- [4] 朱绍强, 李寿安, 李为吉, 等. 具有最大可用度的航空备件供应模型[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2005, 6(2): 22-24.
Zhu Shaoqiang, Li Shouan, Li Weiji, et al. A spare parts providing model with the maximal availability [J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2005, 6(2): 22-24. (in Chinese)
- [5] 伏洪勇, 赵宇. 机群备件费用与使用可用度的分析[J]. 航空维修与工程, 2004(3): 52-53.
Fu Hongyong, Zhao Yu. The analysis of spare part cost and operating availability for plane-group [J]. Aviation Maintenance and Engineering, 2004(3): 52-53. (in Chinese)
- [6] 阮旻智, 李庆民, 黄傲林. (R, Q)库存策略下消耗件的协同订购方案优化[J]. 北京理工大学学报, 2013, 33(7): 680-684.
Ruan Minzhi, Li Qingmin, Huang Aolin. Optimization of cooperative ordering project for consumable spare parts under (R, Q) inventory policy [J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2013, 33(7): 680-684. (in Chinese)
- [7] 孙磊, 贾云献, 王帅. 平均保障延误时间(MLDT)建模方法研究[J]. 计算机与数字工程, 2011, 39(1): 21-25.
Sun Lei, Jia Yunxian, Wang Shuai. Research on MLDT modeling method [J]. Computer & Digital Engineering, 2011, 39(1): 21-25. (in Chinese)
- [8] 郑东良. 航空维修管理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
Zheng Dongliang. Aircraft maintenance management [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006. (in Chinese)
- [9] 杨宜林, 王德功, 常硕. 军用飞机备件预测仿真研究[J]. 价值工程, 2012(8): 129-130.
Yang Yilin, Wang Degong, Chang Shuo. Research on forecasting the demand of aviation spares by simulating based on SPN and arena [J]. Value Engineering, 2012(8): 129-130. (in Chinese)
- [10] 丁笑亮, 武昌, 毛玉泉, 等. 基于 ARENA 的战场抢修流程仿真[J]. 火力与指挥控制, 2010, 35(8): 15-20.
Ding Xiaoliang, Wu Chang, Mao Yuquan, et al. The Research of the simulation of the quick-repair process in the battlefield based on ARENA [J]. Fire Control and Command control, 2010, 35(8): 15-20. (in Chinese)
- [11] David W K, Randall P S, David T S. Simulation with arena [M]. New York: Naval School, 2007: 447-455.

作者简介:

宋文静(1979—),女,助教。主要研究方向:航空工程管理等。

易华辉(1977—),男,博士后。主要研究方向:航空工程管理、毁伤等。

(编辑:赵毓梅)