

文章编号:1673-1522(2019)04-0356-07

DOI: 10.7682/j.issn.1673-1522.2019.04.004

# 基于性能保障分析的飞机备件需求预测模型

涂继亮<sup>1,2</sup>, 余洪<sup>1</sup>, 余松<sup>1</sup>, 王彦晓<sup>1</sup>

(1. 江西洪都航空工业集团有限责任公司650所, 南昌 330024; 2. 南昌航空大学信息工程学院, 南昌 330063)

**摘要:**基于性能的后勤保障其实质就是购买性能而不是传统的购买产品和服务。目前这已成为美国国防部首选的产品保障策略。鉴于目前飞行训练任务期间备件需求量预测方法与定期维修保障模式顶层指标相脱节, 预测结果无法适应飞行训练及面向性能保障的需求, 文章通过基于性能的性能保障分析方法, 给出了基于性能保障分析的备件需求规划流程; 以维修保障费用最低为目标, 飞机使用可用度、备件保障概率、备件利用率等保障性指标为约束条件, 建立了基于多约束的飞机备件预测模型。实例应用表明, 该方法所获取的备件需求预测量完全基于设备保障性能角度建立, 能够满足用户提出的“购买性能”需求, 既有利于实现某型飞机系统维修保障顶层设计要求, 又增强了备件需求定量预测的可操作性。

**关键词:**基于性能的保障; 保障性分析; 效能指标; 备件需求

**中图分类号:** V267<sup>+.4</sup>

**文献标志码:** A

备件需求预测是部队服役机型综合后勤保障的要素之一。“实战化飞行训练”要求维修保障人员依据飞行训练任务或维修保障计划, 在现行设备供应体制和条件下, 确保能够在规定时间将规定数量的备件运送到需要的地点, 从而达到满足飞机装备完好性要求和维修费用最小等性能保障目标<sup>[1]</sup>。因此, 在装备可靠性、维修性水平相对稳定的情况下, 研究适用于部队飞行训练需求和保障性能的某型飞机备件预测模型及计算方法, 明确飞机备件量与性能保障指标之间的量化关系, 优化飞机备件配置方案, 对实现军民融合条件下飞机备件精确化保障具有重要的应用价值<sup>[2]</sup>。

备件需求预测问题长期受到国内外学者及部队领导的关注, 自20世纪60年代以来, 以美国为代表的西方发达国家很早就对飞机备件决策优化模型开展了研究, 所提出的相关模型及计算方法较多<sup>[3-4]</sup>, 也都具有极强的针对性和实用性。从国内文献研究来看, 备件需求预测方法主要有工程经验法和解析模型法<sup>[5]</sup>。工程经验法的应用效果取决于系统相似程度及预测专家个人经验, 存在一定主观性。解析模型法则依据备件寿命分布信息建立备件需求量预测模型, 是当前备件优化配置方案设计的主流方法。如文献[6]以机队可用度和备件满足率为约束条件, 建立了相应的以库存系统总成本为优化目标的数学模型, 通过运用边际分析法求解考虑横向供应及维修比例条件下的备件多级库存配置。文献[7]以初始备件配置费用

为优化目标, 通过优化备件配置结构, 生成较好的初始备件配置方案。文献[8]针对相同多部件系统, 根据系统的退化状态和备件库存状态确定维修需求, 建立了以系统检测周期、预防维修阈值和备件安全库存阈值为决策变量, 以平均费用率最低为目标的联合维修决策模型。传统备件预测优化模型当中, 优化目标大多是备件短缺数或者等待备件时间, 文献[9]以作战指挥人员关注的装备完好率为优化目标, 依据单位价格备件对装备完好率的贡献度建立了两级备件最优组配方案。文献[10]考虑了维修备件需求的随机性, 以装备可用度、完好率置信度以及维修备件的保障程度为约束条件, 将维修备件保障费用达到最小值确定为目标函数来建立备件需求模型。解析模型法的关键在于获取系统各装备的故障间隔时间分布信息及维修保障系统的固有属性进行备件需求建模。在实际应用中, 因维修保障数据缺乏导致需要结合专家经验综合判定, 影响了预测结果的准确性, 文献[11]针对备件供应系统的非线性和不确定性问题, 考虑调运时间对供应造成的延迟效果和供应量的扰动约束, 利用备件生产和调运策略的模糊规则, 建立了模糊备件供应模型。上述模型可以看出, 解析法构建的优化模型形式较复杂, 很难得到封闭解。通过对该领域的相关文献进行分析可以发现, 针对考虑多种性能保障约束条件来研究教练机备件需求预测方法的文献还较少, 预测结果无法适应飞行训练及面向性能保障的需求。

随着国内正在推行的基于性能的后勤保障工作

收稿日期: 2019-05-29; 修回日期: 2019-06-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71862025, 61861033); 江西省教育厅科技资助项目(GJJ180521)

作者简介: 涂继亮(1980-), 男, 高级主任设计师, 博士后。

的不断深入,在军民融合战略指导下,维修保障更加强调军方主导、工业部门主责的保障思想,逐步改变传统初始备件由军方在飞机换装后向成品厂、辅机厂分散采购的航材筹措模式,要求承制方更多地承接装备部队级备件保障和维修保障工作。为了更好地保障承制方的经济利益,对备件保障的全寿命周期费用提出了尽可能低的要求。尤其是现在训练实战化后,部队飞行训练任务加大,飞行小时明显增多,飞机备件需求不确定性进一步加大,迫切需要提高飞机维修保障的各项性能指标,如满足飞机使用可用度、备件保障概率、备件利用率、降低维修保障费用等效能约束指标,飞机备件方案优化就成为一个多目标规划的科学问题<sup>[12]</sup>。在这种模式下,就要求所建立的备件需求模型具有面向效能提供保障的能力,确定一个科学、合理的备件清单。

### 1 备件供应流程分析

性能保障分析的关键是综合应用可靠性、维修性、测试性、安全性分析方法,依据飞行训练任务强度、部队和工业部门维修能力、备件供应链特点,明确飞机备件与各保障性能指标之间的定量关系。本文根据保障性分析要求确定了基于性能保障分析的备件供应流程,如图1所示,主要过程描述如下。

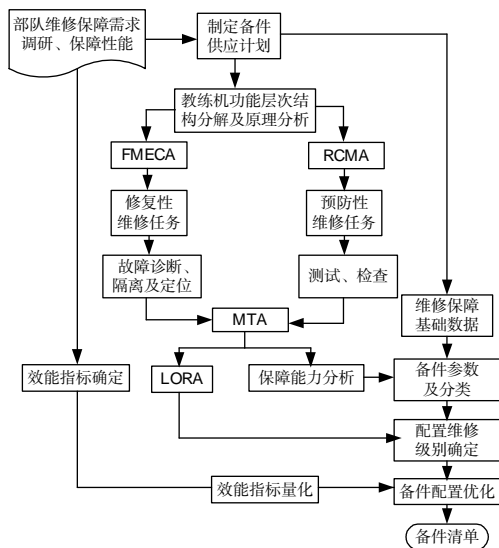


图1 基于性能保障分析的备件供应流程

Fig.1 Spare parts supply process based on performance support analysis

1)深入部队和公司各专业室与型号总师、设计人员交流沟通,参与方案设计,了解飞机系统及其附件的参数和布置、预防性维修和修复性维修信息等。

2)明确系统功能及组成原理,对飞机装备故障规

律及影响(FMEA)深入分析。依据GJB/Z 1391-2006总体单位和配套单位分别进行故障模式、影响及危害性分析(FMECA)和可靠性、维修性、测试性、安全性、保障性(RMS)分析,为维修保障提供基础数据。

3)依据GJB 1378A-2007开展以可靠性为中心的维修任务分析(RCMA),得到预防性维修工作产生的备件项目。

4)综合考虑部队面向性能保障的维修需求,根据FMEA/FMECA/RMS分析结果,确定维修保障任务(MTA),获取备件维修工作过程、维修工时,所需备件品种等信息<sup>[13]</sup>;结合产品的RMS设计数据进行备件需求分析、汇总、统计,得到全面翔实的保障性数据。

5)依据GJB 2961-97开展修理级别分析(LORA),将全部的预防性维修、修复性维修及其他维修工作分配到各个维修级别,得出各维修级别上配置的维修任务。

6)利用保障性分析得出的零部件、故障率、预防性维修任务、修复性维修任务、备件品种等,构建备件配置优化模型。模型主要以可用度、备件保障概率、备件利用率等效能量化指标作为约束条件,以维修保障费用最少为目标函数。

### 2 保障效能指标量化

基于性能保障分析的维修保障方式能够将已有的多个保障单元联合起来,以飞机的性能为指标,以效能分析为着眼点,有效建立效能指标与维修保障核心要素之间的函数关系。在基于性能保障分析的备件供应流程中,可以看出FMECA、RCMA、LORA、MTA、效能指标量化是相互关联的整体,其中,FMECA、RCMA、LORA、MTA为效能指标量化提供了依据,效能指标量化必须反映性能保障分析的客观结果。本文基于备件供应费用、飞机使用可用度、备件保障概率、备件利用率等保障效能指标,构建了一个多约束条件的备件定量预测模型。模型构建的关键是依据GJB 4355中关于航空备件供应规划标准要求。同时,结合某型飞机维修保障实际,首先确定合适的方法来量化飞机装备的保障效能指标。

#### 2.1 备件供应费用量化

备件供应费用主要由采购费用、存储费用、运输费用等构成。假设部队和工业部门的保障机构设置相对固定,基于性能保障分析获取的可靠性和维修性水平相对稳定。某型飞机保障系统的某部件需要配置 $n$ 类备件,依据历史备件需求数据得出各类备件需求率为 $\lambda_k(\tau)$ ,备件平均采购费用为 $p_k$ 、储存该备件的

平均库存费用为  $\alpha_k$ 、因储存该备件的平均积压损失费用为  $\beta_k$ 、因备件短缺导致的平均损失费用为  $\gamma_k$ 。仓库储存该类备件数量为  $S_k$ ，则备件供应费用量化模型如下。

1) 该类备件平均采购费用为：

$$C_1(S_k) = \sum_{k=1}^n p_k S_k \quad (1)$$

2) 储存备件的平均库存费用为：

$$C_2(S_k) = \sum_{k=1}^n \alpha_k S_k \quad (2)$$

3) 因部队储存该类备件产生的平均积压损失费用为：

$$C_3(S_k) = \sum_{k=1}^n \beta_k \int_0^{S_k} (S_k - \tau) \lambda_k(\tau) d\tau \quad (3)$$

4) 备件短缺导致的平均损失费用为：

$$C_4(S_k) = \sum_{k=1}^n \gamma_k \int_{S_k}^{+\infty} (\tau - S_k) \lambda_k(\tau) d\tau \quad (4)$$

则全部备件供应费用为：

$$C(S_k) = \sum_{k=1}^n (p_k + \alpha_k) S_k + \sum_{k=1}^n \beta_k \int_0^{S_k} (S_k - \tau) \lambda_k(\tau) d\tau + \sum_{k=1}^n \gamma_k \int_{S_k}^{+\infty} (\tau - S_k) \lambda_k(\tau) d\tau \quad (5)$$

### 2.2 使用可用度量

飞机使用可用度是对系统可靠性和维修性的综合度量，一般定义为在规定的保障时间范围内，飞机可随时满足飞行训练任务需求的概率<sup>[14]</sup>。假设  $T_p$  为飞机系统总预防性维修时间， $T_{MC}$  为系统基层级平均修复时间， $T_{BM}$  为系统平均维修间隔时间， $T_{MLD}$  为系统备件平均保障延误时间（由于保障设备、工具等其他保障资源导致的保障延误相对较少，本文只考虑备件问题导致的保障延误），则飞机使用可用度定义为：

$$A = \frac{T_{BM}}{T_p + T_{MC} + T_{BM} + T_{MLD}} \quad (6)$$

为计算出  $T_{MLD}$ ，假设所需的  $n$  类备件的综合保障概率为  $P$ 。考虑保障机构的层级关系和相互影响因素，假定  $T_0$  为系统基层级有备件时获得备件的平均时间； $T_q$  为系统基层级缺备件时获得备件的平均时间。

$$T_{MLD} = P \times T_0 + (1 - P) \times T_q \quad (7)$$

### 2.3 系统保障概率量化

系统保障概率  $P$  定义为组成飞机某部件或子系统的所有 LRU 备件满足飞行训练任务需求的概率。由于消耗件、标准件相对容易得到，且价值较低，本文

中提出的备件保障概率指外场可更换单元(LRU)备件在规定的级别和规定的时间内，能够提供使用的备件数与需要该级别提供的备件总数之比。假设  $\lambda_k$  为备件  $k$  的故障率， $T_{k,w}$  为备件  $k$  在飞行训练保障期内总的工作时间， $P_k(S_k)$  为数量为  $S_k$  的备件  $k$  的保障概率（表示保障任务期内需要该备件而不缺货的概率，又称为备件满足率）， $S_k$  为备件  $k$  的数量。则有<sup>[15]</sup>：

$$P = \frac{\sum_{k=1}^n (\lambda_k T_{k,w}) P_k(S_k)}{\sum_{k=1}^n \lambda_k T_{k,w}} \quad (8)$$

对于大部分故障间隔时间服从指数分布的飞机备件而言，GJB 4355-2002 给出了  $P_k(S_k)$  计算方法为：

$$P_k(S_k) = \sum_{j=0}^{S_k} \frac{(e \times N_k \times \lambda_k \times T_{k,w})^j}{j!} \exp(-e \times N_k \times \lambda_k \times T_{k,w}) \quad (9)$$

式(9)中： $N_k$  为维修保障部件或子系统的装机总数量； $e$  为备件非工作消耗的修正系数。

### 2.4 备件利用率量化

国内外的飞机备件供应实践表明，部队和工业部门为满足保障效能，往往通过提高备件储备量来实现，造成备件大量积压现象。因此，备件利用率往往作为部队在评价和改善飞机维修保障方案的重要指标<sup>[16]</sup>。系统备件利用率这一效能指标能够反映储备的备件在规定的任务保障时间内实际效能利用情况，可有效反映实际的备件方案在面向性能保障的维修应用中的经济效率。假设飞机备件故障间隔时间服从指数分布， $\mu_k$  为该备件平均故障间隔时间（一般可取  $\mu_k = \frac{1}{\lambda_k}$ ），则可以利用平均故障次数的向上取整来定义该备件利用率。

$$U = \min \left( 1, \left[ \frac{\sum_{k=1}^n e \times N_k \times T_{k,w} (\mu_k)}{\sum_{k=1}^n S_k} \right] \right) \quad (10)$$

### 3 备件预测优化模型

工业部门在承担备件保障任务后，需要综合考虑飞机备件保障的飞行训练需求及保障方案经济效益，在上述综合保障效能指标量化基础上，可得到某型飞机系统备件预测优化模型构建的思路：在确保不低于规定的飞机使用可用度  $A_0$ ，系统保障概率  $P_0$ 、备件利用率  $U_0$  前提下，使得系统维修保障费用成本最低。由此，建立如下面向性能保障需求的多约束优化模型：

$$\min C(S_k) = \sum_{k=1}^n (p_k + \alpha_k) S_k + \sum_{k=1}^n \beta_k \int_0^{S_k} (S_k - \tau) \lambda_k(\tau) d\tau + \sum_{k=1}^n \gamma_k \int_{S_k}^{+\infty} (\tau - S_k) \lambda_k(\tau) d\tau ;$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} A \geq A_0 \\ P \geq P_0 \\ U \geq U_0 \\ S_k \geq 0 \end{cases} \quad (11)$$

可采用边际优化算法对模型进行优化,通过对边际单元的效费进行权衡,达到对资源的合理利用,并在一定的约束条件下进行循环迭代,直到满足约束条件为止,并将其对应的备件方案作为当前迭代优化结果。在每一轮的迭代过程中,需要根据具体的飞行型号维修保障特点及飞行训练要求对各效能指标排序,并结合各效能指标的边际效益值来确定当前最需要调整的控制变量。本文假定飞机使用可用度优先,备件保障概率次之,备件利用率最后的顺序来确定边际效益最大所对应的备件。算法流程如图2所示。

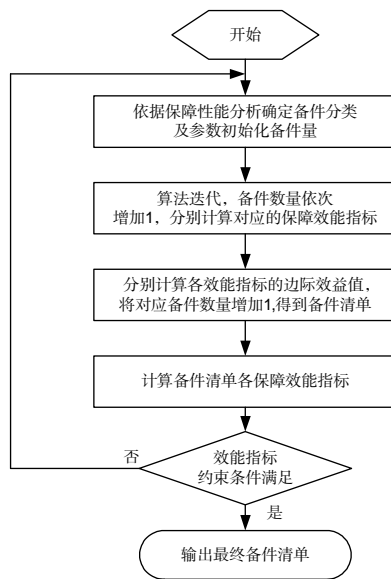


图2 备件优化模型计算流程

Fig.2 Computing flow of spare parts optimization model

算法的基本步骤为:

**Step1:** 备件分类及备件参数初始化。针对飞机系统中的每类备件, 确定备件初始保障参数<sup>[17]</sup>; 记初始备件量为“0”, 初始备件清单记为  $S_0$ , 分别计算初始效能指标, 如系统使用可用度  $A_{mk}$ 、 $P_{mk}$ 、 $U_{mk}$  和备件费用  $C_{mk}$ ,  $m=0, k=1,2,\dots,n$ ;

**Step2:** 进行算法迭代。依次针对每类备件增加一个备件量, 分别计算所对应的系统效能指标  $A_{mk}$ 、 $P_{mk}$ 、 $U_{mk}$  和  $C_{mk}$ ,  $m=m+1, k=1,2,\dots,n$ ;

**Step3:** 备件清单计算。分别计算系统各效能指标

增加量  $\Delta A_{mk}$ 、 $\Delta P_{mk}$ 、 $\Delta U_{mk}$ , 以及维修保障费用增加量  $\Delta C_{mk}$ , 其中,  $k=1,2,\dots,n$ 。求出  $\frac{\Delta A_{mk}}{\Delta C_{mk}}$ 、 $\frac{\Delta P_{mk}}{\Delta C_{mk}}$ 、 $\frac{\Delta U_{mk}}{\Delta C_{mk}}$  的最大值, 将对应  $k$  类备件的备件量加1, 此时备件清单记为  $S_m$ ;

**Step4:** 迭代终止条件判断。如果备件清单  $S_m$  的各效能指标不满足约束条件, 则返回 Step2 继续计算, 依次得到备件清单  $S_{m+1}, S_{m+2}, \dots, S_{m+S_k}$ , 直至计算备件清单  $S_{m+S_k}$  得到的保障效能指标满足约束条件, 则停止迭代,  $S_{m+S_k-1}$  即为满足保障性能需求的备件清单。

## 4 算例应用

假设某部队列装的某型单架飞机子系统包括3个LRU, LRU1、LRU2和LRU3单个系统安装数分别为2、1、4,  $e=1.1$ 。备件采购单价  $p_k$  分别是9796元、19832元、4916元; 部队单位仓库储存时备件平均库存成本  $\alpha_k$  为300元、612元、160元; 储存时各备件平均积压损失费用  $\beta_k$  分别为650元、1450元、200元; 储存时备件平均短缺损失费用  $\gamma_k$  分别为1000元、3500元、450元。依据3年内历史备件需求数据统计得出3类备件需求量服从正态分布  $\tau \sim (4, 1)$ , 备件故障率  $\lambda_k$  分别为0.00012/h、0.00083/h、0.00025/h。部队要求以飞行小时作为初始保障任务期, 各备件工作时间  $T_{kw}$  分别为1500h、1000h、1000h。由保障性分析获取该子系统固有性能参数, 分别为:  $T_p=20$ h,  $T_{MC}=0.5$ h,  $T_{BM}=120$ h,  $T_0=1$ h,  $T_i=60$ h。

要求系统的可用度不低于0.75、备件保障概率不小于0.76、备件利用率不低于0.7, 维修保障费用预算为15万元。依据上面的备件优化模型, 运用边际优化算法计算多约束性能保障条件下的飞机备件数量。基于 Matlab 仿真编程的方法<sup>[18]</sup>, 可求得较为理想的可满足飞机保障性指标约束条件下3类备件的初始清单为(2, 3, 6), 对应的飞机使用可用度为0.78, 备件保障概率为0.78, 备件利用率为0.73, 最低维修保障费用为13.3484万元。同时, 考虑迭代优化算法输出结果为离散数据点, 应用 Matlab 数据拟合可以分别计算出飞机使用可用度  $A$ 、保障概率  $P$ 、备件利用率  $U$  和维修保障费用  $C$  之间的边际效益曲线, 分别如图3所示。

随着飞行保障任务时间增长, 备件利用率提升, 备件保障概率和飞机使用可用度可能下降, 效能指标之间存在一定的相互关系。通过对数据优化过程中获取的各效能指标数据进行拟合, 可建立效能指标之间的定量关系, 分别为备件利用率与备件保障概率及飞机使用可用度与备件保障概率之间的相互关系, 即

U-P 曲线, A-P 曲线,如图4所示。

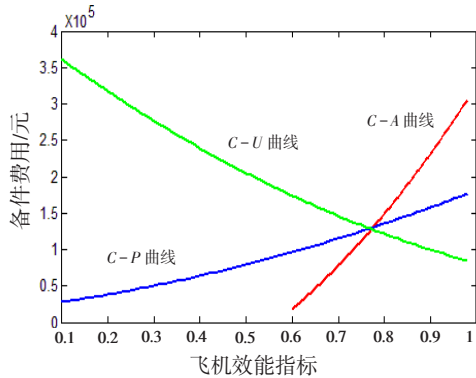


图3 飞机某系统费效曲线

Fig.3 Cost-effectiveness curve of an aircraft system

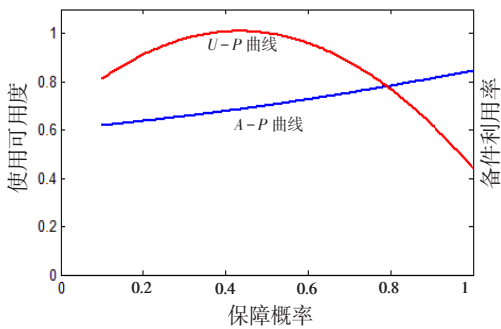


图4 效能指标之间的相互关系

Fig.4 Interrelationship between effectiveness index

通过图4可以看出,随着备件保障概率的增加,飞机使用可用度同时增加,但在后期增加速度较为平缓;此外,保障概率在一定范围内的增加能够提高备件利用率,但随着备件保障率的增长,备件利用率反而会下降,即使是优化后的备件方案,较高的保障率并不意味着具有较高的备件利用率。正因为备件利用率指标的约束,为飞机备件优化方案提供了可行解。

### 5 结束语

本文以某型飞机系统备件保障为例,通过基于性能的保障性分析方法,给出了基于性能保障分析的备件需求预测流程,确定某型飞机初始保障期内维修保障过程中各维修级别上所需的每一项备件。并以维修保障费用最低为目标,系统装备可用度、备件保障概率、备件利用率等保障性指标为约束条件,建立了某型飞机备件需求分析与预测模型,给出了备件需求随机性强的条件下,面向性能保障需求的备件优化方案,从而满足部队用户提出的“购买维修保障性能”的

需求。

通过保障性分析流程可以看出,基于PBL的备件供应规划工作开始于产品的论证阶段,并随着产品研制工作的推进而逐步细化,在性能指标量化过程中,需要与其他工程专业相协调。例如,将FMECA的结果作为备件需求确定的输入,确保备件清单与性能保障性分析的结论相一致。初始保障期内备件品种确定和数量预测时能够得到的信息非常有限,所以必须不断地积累产品的外场使用数据、故障数据、维修数据和备件出库数据等历史数据,通过对这些历史数据的分析、处理,可以得到更为准确的备件可靠性数据,如故障率等,为根据使用或作战需求情况动态地预测备件需求提供技术支持。

此外,在实际工程中,影响备件供应保障的因素很多,利用本模型得到的备件数量仅供管理部门参考,必须结合以往航空产品的备件供应保障经验,对备件清单进行修正。在后期研究中,需要进一步研究各性能指标量化的方法,结合具体型号数据建立不同性能指标之间的定量关系。例如,飞机使用可用度的估算及备件保障概率的分配,均需要更加全面综合地考虑飞机系统或部件之间的维修保障性影响并将其量化。同时,进一步研究多约束目标优化模型的快速求解算法,使得备件需求量预测结果更加准确可信,并与工程中实际应用的软件预测结果进行分析比对,增强飞机备件需求量预测方法在型号服役阶段的实用性和可操作性。

### 参考文献:

- [1] 刘卓,张峻,潘应雄. 国外军事飞行训练保障军民融合发展带来的启示[J]. 教练机,2017,18(1):17-20.  
LIU ZHUO, ZHANG JUN, PAN YINGXIONG. Inspiration from the civil-military inoculation development of foreign military flight training[J]. Trainer, 2017, 18(1): 17-20. (in Chinese)
- [2] 何泽文,石全,闫秀燕,等. 基于军民融合条件的装备性能维修保障合同执行情况[J]. 火力与指挥控制,2017,42(4):47-52.  
HE ZEWEN, SHI QUAN, YAN XIUYAN, et al. Execution performance of equipment maintenance contract based on civil- military integration[J]. Fire Control & Command Control, 2017, 42(4): 47-52. (in Chinese)
- [3] SUN YONGQUAN, CHEN XI, REN HE, et al. Ordering decision-making methods on spare parts for a new aircraft fleet based on a two-sample prediction[J]. Reliability Engineering and System Safety, 2016, 156(3): 40-50.

- [4] ROB JI BASTEN, JENNIFER K RYAN. The value of maintenance delay flexibility for improved spare parts inventory management[J]. *European Journal of Operational Research*, 2019, 278(2): 646-657
- [5] KENNEDY W J, PATTERSON J W, FREDENDALL L D. An overview of recent literature on spare parts inventories[J]. *International Journal of Production Economics*, 2002, 76(2): 201-215.
- [6] 冯蕴雯,刘雨昌,薛小锋,等. 基于横向供应与维修比例的民机备件配置优化技术研究[J]. *西北工业大学学报*, 2018, 36(6): 1059-1068.  
FENG YUNWEN, LIU YUCHANG, XUE XIAOFENG, et al. Research on configuration optimization of civil aircraft spare parts with lateral transshipments and maintenance ratio[J]. *Journal of Northwestern Polytechnical University*, 2018, 36(6): 1059-1068. (in Chinese)
- [7] 周伟,郭波,张涛. 两级供应关系装备常用备件初始配置模型[J]. *系统工程与电子技术*, 2011, 33(1): 89-93.  
ZHOU WEI, GUO BO, ZHANG TAO. Initial configuration model for common equipment parts based on two-class supply relationship[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2011, 33(1): 89-93. (in Chinese)
- [8] 逯程,徐廷学,王虹. 装备视情维修与备件库存联合优化决策[J]. *系统工程与电子技术*, 2019, 41(7): 1560-1567.  
LU CHENG, XU TINGXUE, WANG HONG. Joint optimization decision of equipment condition-based maintenance and spare parts inventory[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2019, 41(7): 1560-1567. (in Chinese)
- [9] 董骁雄,陈云翔,项华春,等. 基于装备完好率的两级可修复备件库存优化模型[J]. *火力与指挥控制*, 2018, 43(6): 41-46.  
DONG XIAOXIONG, CHEN YUNXIANG, XIANG HUACHUN, et al. Optimization of two-echelon repairable item inventory systems with materiel operational rate as objective[J]. *Fire Control & Command Control*, 2018, 43(6): 41-46. (in Chinese)
- [10] 毛宇,黄之杰,李威,等. 基于多种约束条件的维修备件库存优化方法研究[J]. *数学的实践与认识*, 2018, 48(10): 163-166.  
MAO YU, HUANG ZHIJIE, LI WEI, et al. Research on the inventory optimization method of spare parts based multiple constraints[J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2018, 48(10): 163-166. (in Chinese)
- [11] 夏国清,栾添添,孙明晓,等. 考虑调运时间的舰载机备件供应系统模糊优化[J]. *航空学报*, 2017, 38(12): 227-237.  
XIA GUOQING, LUAN TIAN TIAN, SUN MINGXIAO, et al. Fuzzy optimization for parts supply system of carrier aircraft considering transporting time[J]. *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*, 2017, 38(12): 227-237. (in Chinese)
- [12] LEE L H, CHEW E P, TENG S, et al. Multi-objective simulation-based evolutionary algorithm for an aircraft spare parts allocation problem[J]. *European Journal of Operational Research*, 2008, 189(2): 476-491.
- [13] 徐晓燕. 一种基于需求特性分类的备件库存管理方法及其实证研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2006, 18(2): 62-67.  
XU XIAOYAN. A demand classification based approach of inventory management for spare-parts and its application[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2006, 18(2): 62-67. (in Chinese)
- [14] 罗承昆,陈云翔,项华春. 基于机群完好率的航材库存优化模型[J]. *数学的实践与认识*, 2018, 48(6): 138-143.  
LUO CHENGKUN, CHEN YUNXIANG, XIANG HUACHUN. Optimization model for aviation materials inventory based on air fleet readiness rate[J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2018, 48(6): 138-143. (in Chinese)
- [15] 陶小创,郭霖瀚,肖波平,等. 基于备件保障概率分配的备件需求量预测模型[J]. *兵工学报*, 2012, 33(8): 975-979.  
TAO XIAOCHUANG, GUO LINHAN, XIAO BOPING, et al. Demand prediction model for spare parts based on fill fate allocation[J]. *Acta Armamentarii*, 2012, 33(8): 975-979. (in Chinese)
- [16] 魏曙寰,陈砚桥,金家善. 单项法和系统法的备件利用率影响因素分析与比较[J]. *火力与指挥控制*, 2017, 42(10): 49-52.  
WEI SHUHUAN, CHEN YANQIAO, JIN JIASHAN. Analysis and comparison for influencing factors of spares utilization between single item method and system method[J]. *Fire Control & Command Control*, 2017, 42(10): 49-52. (in Chinese)
- [17] 董骁雄,陈云翔,项华春,等. 基于SST和Bayes的初始备件需求确定方法[J]. *北京航空航天大学学报*, 2018, 44(2): 316-321.  
DONG XIAOXIONG, CHEN YUNXIANG, XIANG

- HUACHUN, et al. Determination method of initial spares requirement based on SST and bayes theory[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2018, 44(2): 316-321 (in Chinese)
- [18] 王锐, 张学峰. 基于MAS仿真的保障机构维修保障能力评估指标研究[J]. 海军航空工程学院学报, 2018, 33(1): 151-158.
- WANG RUI, ZHANG XUEFENG. Research on maintenance support capability evaluation index of maintenance force based on MAS simulation[J]. Journal of Naval Aeronautical and Astronautical University, 2018, 33(1): 151-158. (in Chinese)

## Aircraft Spare Parts Requirement Forecasting Model Based on Performance Support Analysis

TU Jiliang<sup>1,2</sup>, YU Hong<sup>1</sup>, YU Song<sup>1</sup>, WANG Yanxiao<sup>1</sup>

(1. The 650 Institute, Aviation Industry Group of Jiangxi Hongdu, Nanchang 330024, China;

2. School of Information Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

**Abstract:** Performance-based logistics is essentially purchasing performance rather than traditional products and services. It has become the preferred product support strategy of the U.S. Department of Defense. In view of the fact that the forecasting method of spare parts requirement during the flight training mission of the domestic army is out of line with the top-level index of the regular maintenance support mode, the forecasting results can not meet the requirements of the flight training and performance-oriented support of the army. Through the performance-based supportability analysis method, the spare parts requirement planning process based on performance-based support analysis was given in this paper. With the goal of minimizing maintenance support costs, the support indexes of system equipment availability, spare parts support probability and spare parts utilization ratio as constraints, a multi-constrained aircraft spare parts prediction model was established. The example application shows that the spare parts requirement forecasting quantity obtained based on the equipment support performance can meet the “purchasing performance” requirement put forward by the army users. It is not only conducive to the realization of the top-level design requirements of maintenance support for a certain aircraft system, but also enhances the operability of the spare parts requirement quantitative forecasting.

**Key words:** performance-based support; supportability analysis; effectiveness index; spare parts requirement

### 简讯:

## 航空基础学院教员 获全国高校青年教师电工学课程教学竞赛特等奖

2019年7月11至13日,教育部高等学校电工电子基础课程教学指导委员会及中国高等学校电工学研究会,在四川大学联合举办了第三届全国高等学校青年教师电工学课程教学竞赛。海军航空大学航空基础学院电工基础教研室杨莉莉教员凭借精致新颖的教学设计、活泼生动的课堂教学荣获特等奖,充分展示了军校文职教员严谨的教学作风、扎实的教学功底、良好的教学能力。

杨莉莉教员表示:竞赛成绩的取得,既是个人努力的结果,更是教研室、教学团队集智把关、辛勤付出的结果,也是学院重视课堂教学和教员培养的结果。通过竞赛进一步锤炼了自身的教学能力,拓展了教学视野,学习了兄弟院校先进的教学理念、教学方法。航空基础学院充分肯定杨莉莉教员的刻苦钻研精神,希望全体教员在教学工作中进一步拓展教学视野,积极借鉴学习地方高校“雨课堂”“对分课堂”等先进教学模式方法,提升课堂教学效益;注重发挥教员教书育人作用,深化课程思政研究实践工作,在人才培养上“种好责任田、守好一段渠”。