

航材后续备件优化保障模型研究

樊庆和

(海军航空工程学院飞行器工程系飞机教研室,烟台 264001)

摘要 针对目前部队航材备件保障方面存在的问题,以及在理论研究方面存在的不足,建立了一种新型的数学模型,解决了在保障率一定的情况下,使得保障经费最小;以及在经费一定的情况下,使得保障率最大的问题。

关键词 后续备件 保障率 优化设计

中图分类号 O227; **文献标识码** A

航材备件的保障问题一直是使用方十分关注的问题,航材备件的保障包括初始备件的保障和后续备件的保障,初始备件的供应是由厂方提供的,期限一般为1年^[1];所以更关心后续备件的保障问题。目前,后续备件订购部门在订购后续备件时,多是依靠经验和人工预测来完成的,即使有些理论上的依据,但理论还很不完善,从而造成在后续备件供应问题上,有时出现供应短缺影响飞机的出勤率,有时造成备件闲置,占用大量资金造成资源浪费。因此,对飞机后续备件的需求量进行理论上的研究,用有限的经费以获得最大的保障率具有十分重要的意义。

1 模型的建立

现主要考虑备件单件的经费、单个部件的保障率、飞机的保障率、部件的故障率、部件的可修性及部件在飞机上的装机重要性等,在部队使用情况的基础上考虑后续备件的优化设计,确定各部件的数量及定货周期内的总费用。

1.1 问题简化及假设

在模型的建立过程中,由于实际情况十分复杂,需对问题进行了相应的简化与假设:

(1)现主要研究在平稳状态下基层级备件的需求问题,并且不考虑飞机之间的串件修理对备件需求量的影响;

(2)所有故障都在外场使用过程中发生,故障件在外场可换件修理或用备件更换;

(3)备件的缺货,或出现故障件不能换件修理,或不能用备件更换,都将导致飞机停飞;

(4)各部件的故障与备件的缺货的过程相互独立;

(5)飞机的保障率与备件的储备量及储备策略相关;

(6)故障的出现是随机的,换件修理和用备件更换的时间是零。

1.2 保障率的定义

通常航材系统的保障率用系统服务水平来定义^[2]。可定义如下:

$$\text{航材保障率} = \frac{\text{一段时间内领料次数} - \text{该时间内缺件次数}}{\text{一段时间内的领料次数}} \times 100\%.$$

从上式中可以看出,航材总的保障率可看成是申请备件能及时提供的概率。

对于单个部件的保障率,由于领料次数和缺件次数没有办法确定,因此,由外场的故障统计及参考有关方面的资料,定义单个部件的保障率为:

$$R(i) = \frac{X(i)}{\lambda(i) \times N(i) \times T_k(i)} \quad (1)$$

(1)式中 $X(i)$ 为第 i 个备件保障的数量, $N(i)$ 为第 i 个备件部件的装机数, $\lambda(i)$ 为第 i 个备件的故障率, $T_k(i)$ 为第 i 个备件的装机工作时间。

1.3 模型的建立

1.3.1 基于一定经费的后续备件优化保障模型
模型的目标函数为

2007年2月6日收到

$$R = \max_i \sum_{i=1}^N \rho(i) R(i) \quad (2)$$

(2)式中: R 为系统保障率, $\rho(i)$ 为单个部件的权重, $R(i)$ 为单个部件的保障率。

约束函数:

$$(1) \quad C = \sum_{i=1}^N C(i) X(i) \leq C(0) \quad (3)$$

$C(i)$ 为第 i 个备件的单价。

(3)式表示对各部件的数量和单价的乘积进行求和,并且使其值小于或等于系统总经费 $C(0)$ 。

$$(2) \quad R(01) \leq R(X(i), T) \leq R(02), \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

(4)式表示各部件在订货周期内的保障率大于或等于最低保障率 $R(01)$, 小于或等于最大保障率 $R(02)$ 。

$$(3) \quad R(00) \leq R(X(i), T), \quad i = 1, 2, \dots, K, \quad R(01) \leq R(00) \leq R(02) \quad (5)$$

(5)式表示其中若干个特别重要的备件的保障率大于保障率 $R(00)$, 其中 $R(00)$ 大于或等于最低保障率 $R(01)$, 小于或等于最大保障率 $R(02)$ 。

(4) $X(i)$ 为非负整数。

1.3.2 基于保障率的后续备件优化保障模型

模型的目标函数为:

$$C = \min_i \sum_{i=1}^N C(i) X(i) \quad (6)$$

约束函数:

$$(1) \quad R(01) \leq R(X(i), T) \leq R(02) \quad (7)$$

$$(2) \quad \sum_{i=1}^N \rho(i) R(i) \geq R(0) \quad (8)$$

$$(3) \quad \sum_{i=1}^{J-1} \rho(i) R(i) + \sum_{i=J}^N \rho(i) R(i) + \rho(J) \times R(X(J) - 1, T) \leq R(0) \quad (9)$$

J 为 $1, \dots, N$ 中任一数值。表示当第 J 个备件缺件一个时,系统总保障率 R 小于 $R(0)$ 。

2 权重的确定

2.1 影响权重因素分析

权重是一种衡量部件在飞机系统中作用大小的方法,由于部件在飞机上的作用大小不同,部件相应的权重也将不同^[3]。从故障率、备件的修复性和部

件的重要性三个方面考虑权重。假设每个部件权重最大值是 10。权重大表示该部件的故障率较大、备件可修或备件装机重要性较大。反之亦然。

故障率是在规定的条件下和规定的时间内,产品的故障总数与寿命单位总数之比。故障率最高的部件在权重中的分数 D 设定为 7 分,而对于故障率最小的部件,将其在权重中的分数设定为 2.5 分。其它部件权重中的分数设定为从 2.5 分到 7 分之间的某个确定值。

由于可修件可以修复后重新装机使用,相当于一个新的备件,在备件优化中占有很大的作用。但是考虑到可修性与故障率和备件装机重要性在权重中的作用不同,将可修件在权重中的分数 E 设定为 1 分,将不可修件在权重中的分数设定为 0 分。

每一个部件在飞机上的重要性是不同的,对于某些飞机的关键部件,这些部件的故障可能会造成机毁人亡的重大事故,则它们在权重中的值 F 设定为最大值 1.9 分,而其它一些部件仅影响某些任务的完成,对该飞机的安全没有太大的影响,其在权重中的值设定为最小值 1.1 分。其它的部件则根据它们在飞机中的重要性设定为从 1.1 到 1.9 的相应值。

2.2 权重的求法

由上述分析可知,每一个部件故障率、可修性和装机重要性所得的分数是不同的,对这三项的分数进行求和,得出该部件的权重分数,然后在对所有部件的权重分数 r_i 进行求和,得出一个总权重分数 G ,

$$G = \sum_{i=1}^n r_i. \quad \text{则部件的权重为 } \rho_i = \frac{r_i}{G}. \quad \text{我们共对飞机上的 96 个部件分别进行了统计和计算,即可计算各部件的权重。表 1 列出某机型部分备件的权重。}$$

表 1 部分备件权重列表

部件 编号	$\lambda(i) / 10^{-4}$	D	E	F	合计	权重 / 10^{-3}	装机数	单价 / 元	平均故障 前时间 / h
64213	3.977	3.6	1	1.1	5.7	11.27	5	5 000	622.57
22113	11.364	5.2	1	1.7	7.9	15.62	1	15 000	595.83
34216	2.273	3.3	0	1.5	4.8	9.49	1	20 000	147.43
23110	3.409	3.5	0	1.3	4.8	9.49	1	356 900	205.09
34421	5.114	3.8	0	1.9	5.7	11.27	1	400 000	487.22
34221	2.273	3.3	0	1.7	5	9.89	1	112 000	447.5
32431	3.977	3.6	0	1.8	5.4	10.68	2	3 112	551.6
29211	1.136	2.7	0	1.7	4.4	8.70	2	107 900	497.5
63445	2.273	3.3	0	1.4	5.7	11.27	1	12 000	108.82
24212	1.136	2.7	0	1.3	4	7.91	1	40 830	106.33
.....									

D 、 E 、 F 分别为故障率、可修性、重要性在权重中所占的分值。

3 模型的求解

一般来说,能否得到最优问题的正确解及求解过程的效率是否高,不仅取决于约束因素和优化变量的数目多少,还取决于目标函数和约束条件的性质。求解约束优化问题的思路主要分为两大类:一是直接对目标函数采用搜索法在可行方向求出最优解;另一个是对目标函数进行转换,化为更易求解的问题来求解原优化问题的最优解^[4]。

结合部队的实际情况,给定系统的保障率为0.9。对模型中的约束条件与目标函数的变量所需的数据作简化处理,使之满足 Matlab程序中 linprog命令的需要。在 linprog命令中,需要目标函数的系数矩阵 f ,不等式约束系数 A 、 b 及等式约束的系数 A_{eq} 、 b_{eq} ,优化变量的上下界 b_0 、 u_b 及其初始值 X_0 ,再加上算法描述 options。处理方法如下。

对于基于一定经费的后续备件优化保障模型,目标函数是求系统的最大保障率 R ,即(2)式,将 $\frac{R_j}{\lambda_i n_i T_k(i)}$ 的值作为系数矩阵 f 在约束条件(4)式中,将它们作为上下边界约束 b_0 、 u_b ;在经费约束条件(3)式中,将备件单价 $C(i)$ 及总经费 $C(0)$ 作为命令中的不等式 A 、 b ,而将等式约束的 A_{eq} 、 b_{eq} 分别设为空值,初始变量 X_0 的值取为0,算法采用标准算法。

对于基于保障率的后续备件优化保障模型,目标函数是在总保障率一定的情况下求系统的最小经费 C ,即(6)式,本文将备件单价 $C(i)$ 作为命令中的系数矩阵 f ,而将约束条件中的系统总保障率的约束条件(8)式作为不等式约束 A 、 b ,将备件的最小与最大单件部件保障率(7)式作为上下边界约束 b_0 、 u_b ,将(9)式作为对满足备件总保障率的备件数量的限制,将其作为对不等式约束的补充,而将等式约束的 A_{eq} 、 b_{eq} 分别设为空值,初始变量 X_0 的值取为0,算法采用标准算法。

4 结果分析

由于程序运行中的数据是部队1500个飞行小

时的数据,而现在部队的年度飞行时间是150h,因此优化后的结果是部队这10年后后续备件总的定货数量。部分备件优化后的结果如表2所示。

由于决策部门年度订购备件数量不可能为非整数,而我们在程序计算中的备件需求量进行了向正无穷大方向取整,这一点会导致程序计算结果偏大,因此需要对程序的结果进行修正以获得单个部件的最佳年度订货量^[5]。

为了使修正后的结果保持客观性,准确性,符合部队备件订购方案,需要对修正进行如下限制:备件的数目为正整数;备件数目小于1时按1计算;程序计算结果中部分备件的数目为1,可以在后续备件初次定货中订购,而不用在以后的年定货再订购;对部分单价比较大备件,而它们的数目又满足上一个条件,可以将它们的费用分摊到以后的若干年中;对部分故障率较大而单价不是太大的备件,可以对它们采取分批订购策略。

下面以若干数据的运算作为例子来解释这种结果分析的方法。以编号为64213的部件为例,其平均故障前时间是622.57h,是150h的4.15倍,对其取整得5,而模型的程序计算的备件数目为4,经过除法运算后得备件数目为0.8,根据以上的限定对备件数目取整得修正后的备件数目为1,其它部件以此类推^[6]。部分备件修正结果见表2。

表2 部分备件计算及修正结果

部件编号	单价/元	模型1 计算 结果	修正 结果	模型2 计算 结果	修正 结果
64213	5 000	4	1	4	1
22113	15 000	10	2	12	3
34216	20 000	2	2	2	2
23110	356 900	2	1	2	1
34421	400 000	3	1	4	1
34221	112 000	2	1	2	1
32431	3 112	6	2	8	2
29211	10 790	2	1	3	1
63445	12 000	2	2	2	2
24212	40 830	1	1	1	1
结论		总经费为 1300 万元时保障 率为 0.8203		保障率为 0.9 时总经费为 14 453 738元	

5 结论

由以上分析可以看出,以一定的故障数据为依据,在可靠性研究的基础上,在给定保障经费的条件下,可以求得系统的最大保障率。同样在给定保障率的条件下,可以求得所需要最小保障经费。同时可以求出所需保障备件的数量,为部队的年度订货提供了理论上的依据。

参 考 文 献

- 1 徐宗昌. 保障性工程. 北京:兵器工业出版社, 2002
- 2 瞿红春,等. 基于航材系统保障率的备件优化模型的研究. 航空制造技术, 2004; (9): 79—82
- 3 宋太亮. 装备保障性工程. 北京:国防工业出版社, 2002
- 4 张志涌. Matlab 6.5辅助优化计算与设计. 北京:北京航空航天大学出版社, 2003
- 5 王效安. 航材库存管理学. 北京:国防工业出版社, 2001
- 6 樊庆和. 基于保障率的航材后续备件优化保障模型研究. 海军航空工程学院学报, 2006; (1): 113—116

Study on Model of Optimization Support of Aeronautical Material Follow up Spare Parts

FAN Qing-he

(Department of Airborne Vehicle Engineering, NAEI, Yantai 264001, P. R. China)

[Abstract] According to the problem of spare parts support of Aeronautical Material and lack of study on theory, a new style mathematics model is established Which can reaches the problem of use the least support funds based on invariable support rate and make the maximal support rate based on invariable support funds

[Key words] spare parts support rate optimization design

(上接第 2757页)

Forced Oscillation for a Class of Impulsive Partial Differential Equations with Delay

YANG Liu

(Department of Mathematics, Hengyang Normal University, Hengyang 421008, P. R. China)

[Abstract] Forced oscillation for a class of impulsive delay partial differential equations with high order Laplace operator is studied To reduce the problem to one dimensional problems for certain first order nonhomogeneous impulsive differential equations by applying Green theorem, some new forced oscillations criterion of the equation for given boundary condition are obtained

[Key words] impulsive delay forced oscillation