

doi: 10.7690/bgzdh.2013.09.010

## 绝对寿控航材需求预测

郭峰<sup>1</sup>, 温德宏<sup>2</sup>, 刘军<sup>3</sup>, 周斌<sup>1</sup>(1. 海军航空工程学院青岛分院, 山东 青岛 266041; 2. 海军装备部航空技术保障部, 北京 100071;  
3. 北海舰队装备部航空装备处, 青岛 266071)

**摘要:** 针对绝对寿控航材保障困难的问题, 建立绝对寿控航材需求预测模型。在分析绝对寿控航材消耗的影响因素和寿命指标的基础上, 利用飞行任务、剩余寿命对有寿消耗航材的到寿情况进行预测, 而有寿可修航材的需求预测全面考虑了报废、到寿和故障对其需求的影响, 利用点估计法确定合适的航材需求分布, 通过满足率确定故障周转数。实例结果表明: 该模型预测准确, 能较好地解决绝对寿控航材的需求预测问题, 具有较高的应用和推广价值。

**关键词:** 绝对寿控航材; 需求预测; 泊松分布; 二项分布; 负二项分布; 满足率

**中图分类号:** TJ04 **文献标志码:** A

## Demand Prediction of Absolutely-Controlled-Life Spares

Guo Feng<sup>1</sup>, Wen Dehong<sup>2</sup>, Liu Jun<sup>3</sup>, Zhou Bin<sup>1</sup>(1. Qingdao Branch, Naval Aeronautical & Astronautical University, Qingdao 266041, China;  
2. Department of Aeronautical Technology Support, Naval Equipment Department of PLA, Beijing 100071, China;  
3. Department of Aeronautical Equipment, North Naval Fleet Equipment Department, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** In view of the problem that the support of absolutely-controlled-life spares was difficult, founded the demand prediction model of absolutely-controlled-life spares. Based on analyzing the factors affecting the consumption and life indexes of absolutely-controlled-life spares, used the mission and residual life to predict the to-life case of life-and-consumption spares. And the demand prediction model of life-repairable spares took everything into account the influence of abandonment, to-life and fault for its demand, and used point estimate method to determine the proper demand distribution of spares, predicted the turnover of spares by the satisfaction rate. The example results proved that the model predicts accurately, and may resolve the demand prediction problem of absolutely-controlled-life spares, with the higher application and promotion value.

**Key words:** absolutely-controlled-life spares; demand prediction; poisson distribution; binomial distribution; negative binomial distribution; fill rate

### 0 引言

绝对寿控航材是指有绝对寿命期限的航材, 如发动机、起动机、起落架、液压泵、蓄电池等, 有严格规定的工作寿命, 达到规定的寿命就要进行更换。绝对寿控航材一般都比较昂贵, 而且对飞行有重要影响, 其装机和库存寿命以及更换情况等都必须通过质量控制部门进行全过程、全寿命管理。

虽然绝对寿控航材数量不多, 但其保障费用在装备全寿命周期费用中占很大的比例, 而且其决策比较复杂, 一直是海军航材保障工作中的重点和难点, 解决其保障问题的关键在于准确地预测其需求。

当前, 国内外在航材需求预测领域已经有了一定的研究。文献[1-3]都是利用消耗数进行时间序列预测, 没有考虑到有寿件、可修件和消耗件的消耗规律不同, 所建立的模型仅适用于纯消耗性航材的需求预测; 文献[4-6]是针对可修航材进行的需求预测或者库存决策研究, 但实际上研究的只是可修航材中的无寿件, 没有探讨可修航材中的有寿件, 所

以对可修航材的需求和库存决策研究并不全面; 目前针对消耗性航材需求预测研究的论文较少, 其中文献[7]比较典型, 在假设其故障服从泊松分布的基础上建立了消耗性航材备件订货模型, 但是对消耗性航材中的有寿件并不适用。目前, 国内还没有系统性地研究过关于有绝对寿命期限的可修航材和纯消耗航材的需求预测; 因此, 笔者对绝对寿控航材中的可修件和消耗件的消耗规律分别进行研究, 针对不同的绝对寿控航材建立了需求预测模型, 较好地解决了绝对寿控航材的需求预测问题。

### 1 消耗影响因素分析

不同绝对寿控航材消耗的影响因素不完全相同。绝对寿控航材包括有寿可修航材和有寿消耗航材 2 类, 其中, 有寿可修航材如果到寿或者发生故障, 可以修理后再次使用, 而有寿消耗航材则是到寿或者发生故障都得报废; 因此, 这 2 类航材都需要考虑寿命因素对消耗的影响, 而对于有寿可修航材则还需要考虑修理周期和年平均送修数。

收稿日期: 2013-04-02; 修回日期: 2013-05-20

基金项目: 海军装备部航空技术保障部项目资助

作者简介: 郭峰(1981—), 男, 安徽人, 硕士, 讲师, 从事装备、器材勤务技术研究。

影响绝对寿控航材消耗的寿命因素主要包括库存保管寿命和装机使用寿命。保管寿命是在仓库中保管的期限，它是日历寿命，一般以年计，这种寿命指标也称为保管日历或保管期。使用寿命是器材装机使用的期限，包括使用小时、使用次数和使用日历，其中，使用次数包括起落次数、起动次数(如起动机)、收放次数(如吊装声纳电缆)、充放电次数(如蓄电池)；使用日历也是日历寿命，它是从装机使用开始计算，而保管日历则是从出厂开始计算。

另外，有寿可修航材可多次翻修，每次修理后工厂都会重新规定翻修间隔期即规定寿命，但是它们并不能无限次翻修，使用达到一定程度时就没有翻修价值了；因此，该类航材除了需要控制上述保管和使用寿命以外，如果航材的累计使用寿命达到总规定寿命，或者最近一次修理后的使用寿命达到规定寿命同时已返修次数达到规定翻修次数，那么就必须报废。

## 2 模型建立

### 2.1 有寿消耗航材需求预测模型

如图 1，有寿消耗航材的周转过程表明，该类航材一般是到寿更换，因为实际工作中该类航材很少发生故障，所以对于该类航材的需求预测，文中不考虑发生故障的情况。

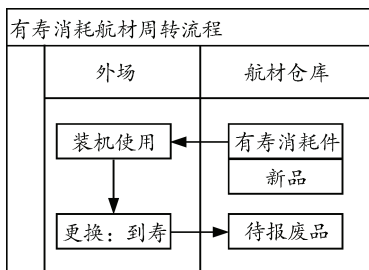


图 1 有寿消耗航材的周转过程

因为有寿消耗航材一般是到寿更换，所以其到寿数即为其下一年的需求数。

有寿消耗航材的到寿预测模型为

$$Y = Y_1 + Y_2 \quad (1)$$

其中

- 1)  $Y$  表示该项航材的到寿数。
- 2)  $Y_1$  表示库存该项航材到寿而更换的数量，即

$$Y_1 = \sum_{i=1}^A \left( \left\lceil \frac{1-t_{sy_i}}{t_{gd_i}} \right\rceil \right) \quad t_{sy_i} > 0, t_{gd_i} > 0 \quad (2)$$

其中： $t_{sy_i}$  表示该项航材第  $i$  件的剩余保管日历； $t_{gd_i}$  表示该项航材第  $i$  件的规定保管日历； $A$  表示其库存量； $\lceil \cdot \rceil$  表示向上取整。

- 3)  $Y_2$  表示装机的航材到寿而更换的数量，即

$$Y_2 = \sum_{i=1}^{bn} \left( \prod_{j=2}^5 \left\lceil \frac{t_{rw_j} - t_{sy_{ij}}}{t_{gd_{ij}}} \right\rceil \right) \quad t_{rw_j} > 0, t_{sy_{ij}} > 0, t_{gd_{ij}} > 0 \quad (3)$$

其中：

- 1)  $t_{gd_{ij}} \mid_{j=2,3,4,5}$  分别表示该项航材第  $i$  件的规定小时、规定起落、规定次数、规定使用日历。
- 2)  $t_{sy_{ij}} \mid_{j=2,3,4,5}$  分别表示该项航材第  $i$  件的剩余小时、剩余起落、剩余次数(除了起落次数以外的其他使用次数)、剩余使用日历。

3)  $t_{rw_j} \mid_{j=2,3,4,5}$  分别表示下一年单机飞行小时、下一年单机飞行起落、下一年单机使用次数和下一年单机使用日历。在实际工作中，每年飞行团做飞行计划时制定的是一年总的飞行任务(包括飞行小时和起落次数)，每架飞机都要完成一定的科目，所以总体上每架飞机的年飞行任务量基本相同；因此，下一年单机飞行小时、单机飞行起落以及单机使用次数都可以用历年单机使用次数的均值，单机使用日历为  $1a$ 。

4)  $n$  表示一个飞行团机群的架数， $b$  表示该项航材的单机安装数。

### 2.2 有寿可修航材需求预测模型

如图 2，有寿可修航材的周转过程表明：报废的航材必须退出周转过程，同时需要补充相当数量的航材以维持正常周转，避免缺件发生而导致周转过程的中断。

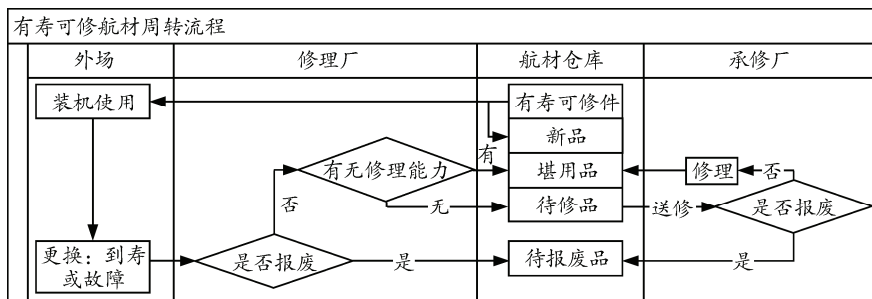


图 2 有寿可修航材的周转过程

对于作堪用库的返修件,可以进入下一轮周转,更换的原因包括到寿和故障 2 种。到寿航材与故障航材的需求规律不同,前者是确定性的,后者是随机性的,必须采用适当方法分别建模预测。但有一点它们是相同的,就是其周转数就是需求数。

综上所述,有寿可修航材的需求数  $S$  包括 3 部分:一是因为已使用寿命累计达到总规定寿命或者已翻修次数达到规定翻修次数造成报废的数量  $S_1$ ;二是到寿航材的周转数  $S_2$ ;三是故障航材的周转数  $S_3$ ,其需求预测模型即为

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \tag{4}$$

### 2.2.1 报废预测模型

在预测报废数之前需要先通过计算到寿数来确定哪些航材到寿,其到寿数的计算方法与有寿消耗航材相同,即通过式 (1)~式 (3)可以确定该项航材有  $K_0$  件到寿。

预测报废数需考虑总使用寿命、总规定寿命规定翻修次数和已翻修次数 4 个指标,其预测模型为

$$S_1 = \sum_{i=1}^{K_0} \left( \left[ \frac{z_i - Z_i + 2t_i}{Z_i} \right] \prod_{j=1}^{q_i} \left[ \frac{q_i - Q_j + 1}{Q_j} \right] \right) \tag{5}$$

其中,  $z_i > 0, Z_i > 0, q_i > 0, Q_j > 0, t_i > 0$ 。 $z_i$  表示到寿某项航材第  $i$  件的总使用寿命;  $Z_i$  表示该项航材第  $i$  件的总规定寿命;  $q_i$  表示该项航材第  $i$  件的已返修次数;  $Q_j$  表示该项航材第  $i$  件的规定翻修次数;  $t_i$  为规定提前更换的剩余寿命。

### 2.2.2 到寿周转模型

到寿周转数的预测是以最早到寿的寿命为依据,在一个修理周期内到寿最多的即为其周转数。因此,其模型建立的关键包括 2 点:一是确定该器材最早到寿的寿命;二是将各种寿命指标转化为日历年限。

该项航材有  $K_0$  件到寿,其中有  $S_1$  件即将报废,其余为可以继续周转的航材,件数为  $K = K_0 - S_1$ ,则其到寿更换时间  $t_{ds_k}$  的分布情况为

$$t_{ds_k} = \min_{j=1,2,\dots,S} \left( \frac{t_{sy_{kj}}}{t_{rw_j}} \right) \tag{6}$$

其中,  $t_{rw_j} \geq t_{sy_{kj}} > 0 (k=1,2,\dots,K)$ 。

设  $x_{kl} = \begin{cases} 1 & t_l \in [t_k, t_k + T) \\ 0 & t_l \notin [t_k, t_k + T) \end{cases}$ , 其中,  $T$  表示该项航材的修理周期,  $l=1,2,\dots,K$ , 则其周转数为

$$S_2 = \max_{k=1,2,\dots,K} \left( \sum_{l=1}^K x_{kl} \right) \tag{7}$$

### 2.2.3 故障周转模型

航材发生的故障又包括随机故障和耗损故障 2 种,其消耗规律不同,应该用符合实际需求情况的概率分布进行预测,才可能获得比较准确的结果。

#### 1) 确定需求分布

航材需求预测需要预测平均需求量以及安全库存量;因此,要确定需求分布,不仅需要利用航材需求均值,还需要考虑航材需求差均比(即方差与均值之比),然后根据差均比采用适当的需求分布进行预测,这一点在过去的航材需求预测研究中经常被忽视。事实上,对发生随机故障的航材,在很短的周期内,大多数需求是均值不变的泊松过程,这是过去需求预测研究常采用的方法;但随观察期的增长,方差与均值的比值(即差均比)将会增加,这时的需求过程属于非稳定增量的泊松过程,可以将泊松分布推广到方差超过均值的负二项分布,即用负二项分布建立需求量模型,其需求预测值会比利用泊松分布预测更接近观察值<sup>[8]</sup>。而对于发生耗损故障的航材,如蓄电池、涡轮叶片等,其故障率符合“浴盆曲线”,需求服从方差小于均值的二项分布,其预测效果也会好于泊松分布。

#### ① 泊松分布。

根据帕尔姆定理<sup>[9]</sup>,假设任意一项航材需求服从年平均需求量(即年随机故障修理数)为  $m$  的泊松过程,且每一故障件的修理时间相互独立,并服从修理周期为  $T$  的同一分布,则在修件数  $x$  的稳态概率分布服从均值为  $mT$  的泊松分布,即

$$\Pr\{x\} = \frac{(mT)^x e^{-mT}}{x!} \quad (x = 0, 1, 2, \dots) \tag{8}$$

#### ② 二项分布。

$$\Pr\{x\} = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \quad (x = 0, 1, 2, \dots, n) \tag{9}$$

其中,  $n > 0, 0 < p < 1, n = \frac{\mu}{1-V}, p = 1-V, \mu$  为其均值,  $V$  为其差均比。 $n$  取值应为整数,令  $n = \left[ \frac{\mu}{1-V} + 0.9999 \right]$ , 其中方括号表示整数部分,括号内加上 0.9999 是确保  $\frac{\mu}{1-V}$  为整数时,  $n$  就取该值;否则,  $n$  就取  $\left[ \frac{\mu}{1-V} \right] + 1$ 。

③ 负二项分布。

$$\Pr\{x\} = \binom{r+x-1}{x} p^x (1-p)^r \quad (x=0,1,2,\dots) \quad (10)$$

其中,  $r = \frac{\mu}{V-1}$ ,  $p = \frac{1}{V}$ 。

2) 建立故障周转模型。

对故障周转数进行预测, 首先要确定需求预测的评估指标, 然后基于该指标建立需求预测模型。笔者采用满足率作为其评估指标。满足率是随时能满足供应的需求所占百分比, 它只与发出需求当时的情况有关, 是最适用于衡量基地仓库部门工作效能的指标<sup>[10]</sup>。设  $S_3$  为周转数, 如果需求量  $x$  小于或等于  $S_3-1$ , 此时航材有库存, 发生一次需求的满足, 而满足率则随着  $S_3$  的增大而增大。若设  $EFR(S_3)$  为期望满足率, 则有

$$EFR(S_3) = \sum_{x=0}^{S_3-1} \Pr\{x\} \quad (11)$$

其中,  $\Pr\{x\}$  为有寿可修航材需求数的概率分布, 文中采用离散理论分布类型选择方法中的点估计法来确定其分布类型: 如果  $V=1$ , 则采用泊松分布; 如果  $V<1$ , 则采用二项分布; 如果  $V>1$ , 采用负二项分布<sup>[11]</sup>。

根据数理统计理论, 期望满足率达到 95% 以上时, 周转数  $S_3$  能够基本满足需求。

另外, 到寿周转航材也可能发生故障, 如果发生故障就需要对到寿周转模型进行修正, 以消除超出实际需求的误差。由于一般情况下产品寿命服从指数分布, 所以笔者假设绝对寿控航材的寿命也服从指数分布。设  $t$  为使用寿命,  $T$  为规定寿命, 则航材的使用寿命在  $[t, T]$  内发生故障的概率为  $P(t \leq X \leq T)$ 。但是, 一般到寿周转航材的剩余寿命  $\Delta t = T - t$  占  $T$  的比例很小, 而指数分布曲线随  $t$  的增大按指数递减, 经过大量测试后可以确定, 到寿周转航材下一年的故障率  $P(t \leq X \leq T)$  非常小, 可以忽略不计。

### 3 模型应用与效果分析

某飞行团某项器材是有寿可修航材, 装机 46 件, 其 2011 年 12 月的寿命控制指标的统计数据如表 1 所示。另外, 该器材的修理周期为 0.35 a, 年平均故障送修数为 4, 该器材历年需求的差均比为 0.8。该飞行团下一年度的飞行计划中, 单机飞行小时数为 134。下面运用文中的模型对该器材下一年的需求进行预测。

表 1 寿命控制指标的统计数据

器材 件号	规定 小时	剩余 小时	规定使 用日历	剩余使 用日历	规定翻 修次数	已返修 次数	器材 件号	规定 小时	剩余 小时	规定使 用日历	剩余使 用日历	规定翻 修次数	已返修 次数
1	1 000	854	10	9.46	3	0	24	1 000	112	10	0.61	3	0
2	700	302	8	2.00	3	1	25	1 000	144	10	0.54	3	0
3	1 000	501	10	6.52	3	0	26	1 000	501	10	5.11	3	0
4	1 000	617	10	6.03	3	1	27	1 000	816	10	9.31	3	1
5	1 000	86	10	1.21	3	1	28	700	408	8	0.05	3	3
6	1 000	542	10	6.33	3	0	29	1 000	832	8	7.66	3	0
7	200	155	3	2.61	3	2	30	800	545	8	6.95	3	2
8	1 000	8	10	0.82	3	0	31	1 000	118	10	2.37	3	0
9	1 000	482	10	9.31	3	0	32	700	227	8	2.94	3	2
10	1 000	870	8	7.87	3	0	33	1 000	807	8	0.07	3	0
11	1 000	947	8	5.49	3	0	34	1 000	971	8	5.76	3	0
12	1 000	870	8	7.87	3	0	35	1 000	606	10	6.30	3	0
13	1 000	91	10	3.55	3	0	36	1 000	91	10	3.55	3	0
14	700	262	8	1.47	3	1	37	600	407	6	0.07	3	3
15	1 000	83	10	6.78	3	0	38	1 000	879	8	7.70	3	0
16	1 000	86	10	1.21	3	0	39	1 000	48	10	1.09	3	0
17	1 000	61	10	5.99	3	0	40	1 000	672	8	7.31	3	0
18	1 000	882	8	7.66	3	0	41	1 000	875	8	0.41	3	0
19	1 000	824	10	9.50	3	0	42	500	227	5	2.44	3	2
20	1 000	46	10	3.57	3	0	43	1 000	112	10	0.65	3	1
21	1 000	852	10	9.46	3	0	44	600	464	6	0.07	3	3
22	1 000	971	8	5.76	3	1	45	1 000	542	10	6.33	3	0
23	1 000	46	10	3.57	3	0	46	1 000	144	10	4.80	3	1

1) 模型应用。

首先, 根据其装机使用寿命情况, 利用式 (1)~式 (3) 可计算出有 19 件到寿, 件号分别是 5, 8, 13, 15, 16, 17, 20, 23, 24, 25, 28, 31, 33, 36, 37, 38, 41, 43, 44;

然后, 利用式 (5) 可以确定件号为 28、37、44 的器材的已翻修次数都达到了规定翻修次数, 所以报废数为 3;

其次, 根据到寿时间分布情况和修理周期, 利用式 (6)、式 (7) 可确定到寿周转数为 11, 其件号

分别为 5, 13, 15, 16, 17, 20, 23, 25, 36, 38, 41。

最后, 由于该器材历年需求的差均比为 0.8, 所以该器材的故障为耗损故障, 其需求服从二项分布。二项分布的参数  $n=20, p=0.2$ , 在满足率不小于 95% 的条件下, 利用式 (9)、式 (11) 可计算出该器材的故障周转数和满足率, 如表 2 所示。从该表中可以看出, 当其故障周转数为 8 时, 满足率达到 96.79%。因此, 下一年度该器材的需求数即为  $3+11+8=22$ 。

表 2 基于二项分布的故障周转数和满足率预测结果 %

故障周转数	满足率	故障周转数	满足率
1	1.15	6	80.42
2	6.92	7	91.33
3	20.61	8	96.79
4	41.14	9	99.00
5	62.96	10	99.74

## 2) 效果分析。

首先, 如果经费比较充裕而且该航材也比较重要, 那么也可以根据其重要程度, 再适当提高故障航材需求预测的期望满足率, 以进一步增加该航材的保障能力。但航材保障经费始终是有限的, 所以满足率很难达到 100%。就该器材来说, 如果要达到 100% 的满足率, 那么故障周转数将达到 13, 其费效比大大增加。由于发生较多故障的概率很小, 一味追求高满足率其实是一种浪费, 这会导致大量航材积压在仓库中, 而有需求的航材却没有经费筹措。在满足报废、到寿周转需求的前提下, 对于故障周转航材来说, 正常供应一般达到 95% 的满足率即可, 剩余的 5% 可以通过紧急订货、调拨等非常正常供应方式来弥补<sup>[12]</sup>。

其次, 对该器材如果仍用过去常采用的泊松分布进行预测, 根据修理周期和年平均故障送修数, 利用式 (8)、式 (11) 可计算出该器材的故障周转数为 5, 满足率为 98.54%。但该器材的需求实际服从的是二项分布而不是泊松分布; 因此, 用泊松分布预测的结果是不准确的, 而且误差很大, 其故障周转数比前者少 3 个, 而满足率却比前者还高 1.75 个百分点。如果利用泊松分布的预测结果进行该器材的筹措, 那么将很可能造成该器材短缺。

最后, 过去的研究没有考虑翻修次数、总寿命对绝对寿控件需求的影响, 其计算结果不完全符合实际情况。文中如果不考虑这 2 个因素造成的报废情况, 那么最后预测结果就会比实际需求少 3 件, 误差达到 13.64%, 而实际的报废数还可能更多。这意味着, 如果忽略因为翻修次数、总寿命达到规定值而导致报废所产生的需求, 将很可能使预测产生较大误差, 最终造成器材短缺。

## 4 结束语

绝对寿控航材的需求预测是做好其保障工作的关键, 需求预测越准确, 对平时的保障就越有利。预测是否准确, 很大程度上取决于所采用的预测方法是否符合实际需求分布。部队修理厂一般不具备修理备件的能力, 可以认为故障数就是送修数, 需求分布与故障分布相符, 这就使该模型能够反映航材实际的故障特性和修理规律, 其预测结果和实际需求相符。另外, 有必要对翻修次数和总寿命进行控制, 以有效改进绝对寿控件需求预测的准确性。此外, 平时的送修工作也很重要, 应该实时掌握航材的状态, 积极催修, 这样可以加快航材的周转速度, 进一步提高该类航材的保障水平。

该模型预测结果科学合理, 较好地解决了海军绝对寿控航材的需求预测问题, 对提高海军航材保障水平具有一定的意义, 对全军该类航材的需求预测也具有一定的参考价值。

## 参考文献:

- [1] 刘杨, 任德奎. 基于灰色理论的间断性需求备件预测方法[J]. 四川兵工学报, 2011, 32(4): 27-29.
- [2] 吴清亮, 董辉, 张政, 等. 基于神经网络对航材备件需求率的预测分析[J]. 兵工自动化, 2009, 28(1): 54-56.
- [3] 万玉成, 何亚群, 盛昭瀚. 基于灰色系统与神经网络的航材消耗广义加权函数平均组合预测模型研究[J]. 系统工程理论与实践, 2003, 7(7): 81-87.
- [4] 何亚群, 谭学峰, 金福祿. 基于可用度的飞机可修件需求分析[J]. 系统工程与电子技术, 2004, 26(6): 848-849.
- [5] 付兴芳, 李继军, 李宗植. 基于两级供应关系的可修复备件存储策略模型研究[J]. 系统工程理论与实践, 2004, 8(2): 111-115.
- [6] 刘源, 陈云翔, 周中良, 等. 基于可用度和费用要求的航材备件储备量优化[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2009, 10(6): 15-18.
- [7] 张瑞昌, 赵嵩正. 消耗性航材备件订货模型的确定[J]. 军事运筹与系统工程, 2004, 18(4): 40-42.
- [8] Craig C, Sherbrooke. 装备备件最优库存建模: 多级技术[M]. 贺步杰, 译. 北京: 电子工业出版社, 2008: 10-50.
- [9] U Dinesh Kumar. 可靠性、维修与后勤保障: 寿命周期方法[M]. 刘庆华, 宋宁哲, 译. 北京: 电子工业出版社, 2010: 177-180.
- [10] 杜俊刚, 何亚群. 美空军精确保障下航材可修件供应指标探讨[J]. 徐州空军学院学报, 2007, 18(4): 87-90.
- [11] 刘兴堂, 吴晓燕. 现代系统建模与仿真技术[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2001: 166-167.
- [12] 陈建华. 我国航空公司航材周转件计划与库存管理研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2009: 2.