

# 导航装备维修用备件需求预测

戚君宜<sup>1</sup>, 高钰榕<sup>2</sup>, 程世辉<sup>1</sup>

(1. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077; 2. 94754 部队, 浙江 嘉兴 314013)

**摘要:** 研究导航装备维修用备件需求预测, 以便制定保障计划的筹措、分配、储存、调拨、使用等各项工作的顺利进行。通过对季节指数法的详细研究, 归纳出该方法的一般步骤, 根据某导航装备维修备件的来源及历史消耗特点, 在一定假设条件下, 运用简单移动平均法修正历史数据, 采用季节指数法预测维修备件消耗量, 并利用 GM(1, 1) 模型检验预测精度; 两种方法计算得出导航装备某备件 2008 年消耗量分别为 209 个和 214 个, 预测精度为一级, 符合预测要求; 通过对这两种预测方法的比较研究, 归纳出不同的使用条件, 进一步说明该方法在备件预测中的实用性和适用性, 有利于备件预测的进一步研究。

**关键词:** 导航装备; 维修备件; 预测; 季节指数; GM(1, 1)

**中图分类号:** TP207 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2009)02-0051-05

维修备件消耗量预测是实施武器装备维修的重要基础。目前, 在有限的保障经费条件下, 谋求维修备件供求的平衡, 已成为装备建设和保障的一项重要研究课题, 也是现阶段装备技术保障不可回避、亟待解决的重大现实问题。

影响维修备件使用量的主要因素是装备本身的故障率, 但备件的管理水平、配送能力等对备件需求量也有一定的影响, 所以, 备件预测时, 要综合考虑这些因素。现有备件需求率预计常用直接计算法、比较法和统计预计法<sup>[1]</sup>。前 2 种未全面考虑影响备件需求率的各种因素, 预计结果与实际需求相差较远。当掌握大量一手准确的备件消耗历史数据时, 统计预计法较接近事实。本文针对导航装备维修备件需求特点和掌握数据情况, 采用季节指数法预测备件用量, 并通过 GM(1, 1) 验证预测结果。

## 1 基于季节指数法的备件预测

### 1.1 季节指数法简介

季节指数法<sup>[2]</sup>是一种时间序列预测技术, 来源于经济活动中的销售量的预测。它是以市场的循环周期为特征, 通过计算历史销售量变化的季节性系数达到预测目的的一种方法。

### 1.2 预测模型假设

使用季节指数法预测时, 须作如下假设: ①使用所预测备件的装备数量保持不变; ②装备故障变化呈现近似线性规律, 而非急剧变化趋势; ③备件管理水平未发生重大变革; ④备件的储备地点和消耗单位恒定。

### 1.3 季节指数法预测思路

季节指数法的基本思路: 先分离出不含季节周期波动的长期趋势, 再计算季节指数, 最后建立预测模型。数学模型为长期趋势模式与季节指数之乘积。

假定有一时间序列  $R_1, R_2, \dots, R_t, T$  是序列长度, 它由  $N$  年的统计数据构成。一年季节周期分段数为  $K$ , 则有  $N \times K = T$ , 综合文献[2-4], 笔者认为对维修备件的预测可分为以下几个步骤:

**第 1 步** 先求  $K = 12$ (月) 或  $K = 4$ (季) 的移动平均值, 再对原始数据修正。移动平均法公式为:

\* 收稿日期: 2008-03-18

基金项目: 陕西省自然科学基金资助项目(SJ08F06)

作者简介: 戚君宜(1962-), 女, 江苏吴江人, 副教授, 主要从事装备作战使用研究. E-mail: qijunyi@126.com

$$M_t = (R_t + R_{t-1} + R_{t-2} + \dots + R_{t-K+1})/K, \quad t = K, K+1, \dots, T \quad (1)$$

式(1)是一种简单移动平均法,预测精度不高,容易产生预测偏差和滞后。但使用简单移动平均法对原始数据预处理,可消除数据中的异常因素或除去数据中的周期变动成分。移动平均值的下标序号往往和每次平均中所包含的中间一个数据的序号相对应,而通过简单移动平均所要修正的也正是中间的那个数据。

根据式(1)当  $K$  为偶数,分别对应修正第  $K/2, K/2 + 1, K/2 + 2, \dots, T-1 - K/2, T - K/2$ , 即  $R'_{K/2} = M_K, R'_{K/2+1} = M_{K+1}, R'_{K/2+2} = M_{K+2}, \dots, R'_{T-1-K/2} = M_{T-1}, R'_{T-K/2} = M_T$ 。

当  $K$  为奇数,分别对应修正第  $(K+1)/2, (K+1)/2 + 1, (K+1)/2 + 2, \dots, T-1 - (K-1)/2, T - (K-1)/2$ , 即  $R'_{(K+1)/2} = M_K, R'_{(K+1)/2+1} = M_{K+1}, R'_{(K+1)/2+2} = M_{K+2}, \dots, R'_{T-1-(K-1)/2} = M_{T-1}, R'_{T-(K-1)/2} = M_T$ 。

**第 2 步** 在数据修正的基础上,计算中心化移动平均值  $R''_t$ , 然后计算每个周期的季节指数  $S'_t$ :

$$S'_t = R_t/R''_t \quad (2)$$

$t$  从第一个中心化移动平均值开始。

**第 3 步** 计算平均季节指数:

$$\overline{F'_j} = (S_j + S_{j+K} + \dots + S_{j+(N-1)K})/N \quad j = 1, 2, \dots, K \quad (3)$$

**第 4 步** 对平均季节指数作正规化处理,使其之和等于  $K$ , 即计算:

$$F_j = \frac{\overline{F'_j}}{\sum_{j=1}^K \overline{F'_j}} \quad j = 1, 2, \dots, K \quad (4) \quad F_j = \overline{F'_j} \times \frac{K}{F} \quad j = 1, 2, \dots, K \quad (5)$$

$F_j$  即为最终所求的季节指数。

**第 5 步** 建立季节指数法的预测数学模型,当长期趋势呈线性,预测模型为:

$$R_{t+L} = (a_t + b_t L) F_j \quad (6)$$

式中: $R_{t+L}$ 为预测值; $t$ 为预测模型所处的时间周期; $L$ 为预测期距离预测模型的间隔周期,即到最后一个中心移动平均值的距离; $F_j$ 为预测的时间所在季节的季节指数; $a_t$ 为观察期最后一个中心化移动平均值; $b_t$ 为以观察期最后 2 个中心化移动平均值为基础的变动趋势值。

### 1.4 备件预测实例

#### 1.4.1 预测对象特点

导航装备的使用时间服从于飞行训练,有明显的时间特性,同时大部分导航装备属于电子设备,受气候影响明显,所以它的故障发生具有季节特征。

#### 1.4.2 移动平均值

由于备件消耗量在 12 个月都有波动性,所以取跨越期为 12 个月,利用式(1)计算移动平均值,然后按照步骤 1 的修正规则,得到修正值  $R'_t (t=6, 7, \dots, 42)$ 。为了消除季节性变动和不规则变动的影响,需要求得中心化移动平均值  $R''_{t+1} (t=6, 7, \dots, 41)$ , 它是利用相邻的 2 个平均数加以平均, 即  $R''_{t+1} = 1/2 (R'_t + R'_{t+1})$ ,  $R''_{t+1}$  包含了长期趋势,很好地过滤掉季节波动,保持序列基本趋势,  $R'_t$  和  $R''_{t+1}$  见表 1。

表 1 备件消耗移动平均值

Tab. 1 The result data of move in average

月 份	2004 年		2005 年		2006 年		2007 年	
	$R'_t$	$R''_{t+1}$	$R'_t$	$R''_{t+1}$	$R'_t$	$R''_{t+1}$	$R'_t$	$R''_{t+1}$
1 月			12.00	11.960	13.75	13.625	15.33	15.290
2 月			12.17	12.085	14.00	13.875	15.42	15.425
3 月			12.33	12.250	14.08	14.040	15.58	15.500
4 月			12.50	12.415	14.25	14.165	15.67	15.625
5 月			12.58	12.54	14.33	14.290	15.75	15.710
6 月	11.33		12.67	12.625	14.42	14.375	15.92	15.835
7 月	11.42	11.375	12.75	12.71	14.58	14.500		
8 月	11.50	11.460	12.92	12.835	14.67	14.625		
9 月	11.58	11.540	13.08	13.000	14.75	14.710		
10 月	11.75	11.665	13.17	13.125	14.92	14.835		
11 月	11.83	11.790	13.33	13.250	15.08	15.000		
12 月	11.92	11.875	13.50	13.415	15.25	15.165		

#### 1.4.3 季节指数

根据步骤 3 和步骤 4 得到平均季节指数及调整后的季节指数,其结果见表 2。

表2 季节指数  
Tab.2 Season exponent

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	总和
2004年							1.670 3	1.483 4	1.386 5	1.028 7	0.508 9	0.336 8	
2005年	0.501 7	0.662 0	0.898 0	1.047 1	1.196 2	1.267 3	1.573 6	1.480 3	1.384 6	1.066 7	0.528 3	0.372 7	
2006年	0.513 8	0.720 7	0.925 9	0.988 4	1.189 6	1.252 2	1.586 2	1.504 3	1.291 6	1.078 5	0.533 3	0.395 6	
2007年	0.588 6	0.713 1	0.903 2	1.024 0	1.209 4	1.263 0							
平均指数	0.534 7	0.698 6	0.909 0	1.019 8	1.198 4	1.260 8	1.610 0	1.489 3	1.354 2	1.058 0	0.523 5	0.368 4	12.024 7
调整后指数	0.533 6	0.697 2	0.907 1	1.017 7	1.195 9	1.258 2	1.606 7	1.486 2	1.351 4	1.055 8	0.522 4	0.367 8	12.000 0

1.4.4 利用模型预测

根据调整后的季节指数和中心化移动平均值,依式(6)建立预测模型。由表2可得预测模型为:

$$R_{t+L} = (15.835 + 0.125L)F_j, \quad j = 1, 2, \dots, K$$

由此模型和表2,可以预测2008年该备件的消耗量,其结果见表3。

表3 2008年某备件消耗预测值  
Tab.3 Forecast of spare parts in 2008

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	总和
年消耗	8.92	11.74	15.39	17.39	20.59	21.82	28.06	26.14	23.94	18.83	9.39	6.66	209
月消耗	9	12	16	18	21	22	29	27	24	19	10	7	214

2 基于GM(1,1)的备件预测

灰色系统理论<sup>[5-6]</sup>直接将时间序列转化为微分方程,建立了抽象系统发展变化的动态模型。这里采用的预测方法是数列预测,适合于对系统连续观测的单个变量的预测,其基础是基于累加生成数列的一阶单变量灰色模型,记作GM(1,1)。本文通过该模型预测备件消耗量,达到验证季节指数法得目的。

2.1 参数计算

为了减少季节因素的影响,本文使用各年消耗量为基数,由统计可知,2004年-2007年该备件消耗量分别为136,152,173,191,则原始数列  $X^0 = \{X_{(1)}^0, X_{(2)}^0, X_{(3)}^0, X_{(4)}^0\} = \{136, 152, 173, 191\}$ ,将原始数据作一次累加生成数列  $X^1 = \{X_{(1)}^1, X_{(2)}^1, X_{(3)}^1, X_{(4)}^1\} = \{X_{(1)}^0, X_{(1)}^0 + X_{(2)}^0, X_{(1)}^0 + X_{(2)}^0 + X_{(3)}^0, X_{(1)}^0 + X_{(2)}^0 + X_{(3)}^0 + X_{(4)}^0\} = \{136, 288, 461, 652\}$ 。再计算:

$$B = \begin{pmatrix} -1/2[X_{(2)}^1 + X_{(1)}^1] & 1 \\ -1/2[X_{(3)}^1 + X_{(2)}^1] & 1 \\ -1/2[X_{(4)}^1 + X_{(3)}^1] & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -212 & 1 \\ -374.5 & 1 \\ -556.5 & 1 \end{pmatrix} \quad Y_N = \begin{pmatrix} X_{(2)}^0 \\ X_{(3)}^0 \\ X_{(4)}^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 152 \\ 173 \\ 191 \end{pmatrix}$$

2.2 建立预测模型

根据文献[3]灰色常微分方程,方程用向量形式表示为:  $Y_N = Br$ 。

根据最小二乘法原理求得  $\tilde{r} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N = \begin{pmatrix} \tilde{\partial} \\ \tilde{u} \end{pmatrix}$ ,得到灰色常微分方程的解后,将其离散化得到模型

的时间响应函数  $\tilde{X}_{(t+1)}^0 = [X_{(1)}^0 - \frac{\tilde{u}}{\tilde{\partial}}]e^{-\tilde{\partial}t} + \frac{\tilde{u}}{\tilde{\partial}}$ ,利用 Matlab,将  $B$  和  $Y_N$  代入计算得,  $\begin{pmatrix} \tilde{\partial} \\ \tilde{u} \end{pmatrix} = \tilde{r} = \begin{pmatrix} -0.1129 \\ 128.9765 \end{pmatrix}$ 。

于是得到预测模型  $\tilde{X}_{(t+1)}^0 = [X_{(1)}^0 - \frac{\tilde{u}}{\tilde{\partial}}]e^{-\tilde{\partial}t} + \frac{\tilde{u}}{\tilde{\partial}} = [136 - (128.9765 / -0.1129)]e^{0.1129t} - 128.9765 / 0.1129$

$9 = 1278.3959e^{0.1129t} - 1142.3959$ 。

2.3 求预测值

将  $t = 0, 1, 2, 3, 4$  代入预测模型,取整,得到预测值数列:  $\tilde{X}^1 = \{\tilde{X}_{(1)}^1, \tilde{X}_{(2)}^1, \tilde{X}_{(3)}^1, \tilde{X}_{(4)}^1, \tilde{X}_{(5)}^1\} = \{136, 289, 460, 652, 866\}$ ,利用式  $X_{(k)}^0 = X_{(k)}^1 - \tilde{X}_{(k-1)}^1$ ,式中  $\tilde{X}_{(0)}^1 = 0$ ,求得还原序列:  $\tilde{X}^0 = \{136, 153, 171, 192, 214\}$ ,即2008年消耗量为214个。

2.4 模型精度验证

对于预测的结果,必须通过精度验证,判定是否符合要求及可信程度,若不符,需要对模型进行修正。采用后验差对模型精度进行检验。

利用式  $e_{(k)} = X_{(k)}^0 - \bar{X}_{(k)}^0$ , 计算残差  $e = \{e_1, e_2, e_3, e_4\} = \{0, -1, 2, -1\}$ , 得到  $\bar{e} = (e_1 + e_2 + e_3 + e_4)/4 = 0$ , 则有  $S_2^2 = \frac{1}{4} \sum_{k=1}^n (e_{(k)} - \bar{e})^2 = 1.5, S_2 = 1.22$ 。

再利用式  $\bar{X}^0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{(i)}^0$ , 计算得  $\bar{X}^0 = 163$ , 有  $S_1^2 = \frac{1}{4} \sum_{k=1}^n (X_k^0 - \bar{X}^0)^2 = 433.5, S_1 = 20.82$ 。从而计算得后验残差比值  $H = S_2/S_1 = 0.0586$ ; 误差概率  $P = P\{|e_{(k)} - e| < 0.6475S_1\} = 1 > 0.95$ 。

根据规定,模型的预测精度为1级。

### 3 两种预测比较

分别采用2种方法预测2008年某导航装备1种备件的消耗量,季节指数法得出的结果为209个,灰色预测结果为214个,结果相差不到3%,因此,预测结果符合要求,说明季节指数法可以用于预测该装备的维修备件消耗量。通过这两种预测方法的运用,可以看出它们适合于不同背景和目標备件消耗量的预测。

1) 预测的时效不同。季节指数法一般适合于做1年-2年的短期预测<sup>[7]</sup>,而GM(1,1)模型可以用作中长期预测。

2) 数据数量需求不同。季节指数法在有2个周期以上的数据时,预测结果的精度较好;GM(1,1)模型一般需要4组以上数据,才能作出比较客观的预测<sup>[8]</sup>。

3) 修正方法不同。GM(1,1)预测结果可以通过数学模型来检验,如果精度达不到要求时,还可以采用数学方法来修正结果<sup>[1]</sup>;季节指数法可通过不断得到的新结果来修正原模型中的参数,以不断提高模型的适应能力<sup>[2]</sup>。

4) 适用条件不同。季节指数法主要适合于周期性和水平趋势同时存在或周期性和增长趋势同时存在的情况<sup>[9]</sup>;灰色预测GM(1,1)模型主要适合光滑数据序列的预测<sup>[10]</sup>。

由此,对于带有季节特征的预测活动,当需要预测下一周期每月备件消耗量时,采用季节指数法比较精确;当需要预测下一整周期备件消耗量时,应该将这两者的预测结果结合起来使用,分别求得消耗量,取平均值;如果预测长期消耗量,不宜采用季节指数法,可以用GM(1,1),但必须先对数据进行修正。

### 4 结束语

本文采用的预测方法,虽然能较客观地预测装备维修用备件的消耗量,但这是建立在一定的假设之上的。当装备使用环境、故障率等发生跳跃性变化时,该方法预测的准确性将会大大降低。因此,对于这2种预测方法,在今后研究中:①综合采用这2种预测方法,将2个结果分别赋予一定的权重,运用加权平均法来优化预测结果;②利用季节指数法修正原始数据,然后再用灰色预测方法预测备件消耗量。备件预测涉及因素很多,是一项技术性很强的工作,这需要我们不断地吸收各种方法,综合分析,才能较精确地预测备件消耗量,达到指导决策的目的。

#### 参考文献:

- [1] 邓聚龙. 灰色系统[M]. 北京:国防工业出版社,1985.  
DENG Julong. Grey System[M]. Beijing: National Defense Industry Press,1985. (in Chinese)
- [2] 傅毓维,张凌. 预测决策理论与方法[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2003.  
FU Yuwei, ZHANG Ling. The Theory and Method of Forecast Decision[M]. Harbin: Harbin Engineering University Press, 2003. (in Chinese)
- [3] 陈培钰. 天津钢管公司设备备件管理与优化[D]. 天津:天津大学,2005.  
CHEN Peiyu. The Management and Optimization of the Spare Parts in Tianjin Pipe Corporation[D]. Tianjin: Tianjin University, 2005. (in Chinese)
- [4] 宋辉,李勇,肖慧鑫,等. 装备维修中备件需求率的预计方法[J]. 武器装备自动化, 2007, 26(2): 26-27.

- SONG Hui, LI Yong, XIAO Huixin, et al. Prediction Method of Spare Demand Rate during Equipment Maintenance[J]. *Arma-ment Automation*, 2007, 26(2): 26-27. (in Chinese)
- [5] 刘秋华. 基于季节指数和灰色预测的月电量预测模型[J]. *南京工程学院学报*, 2006, 4(1): 1-6.  
LIU Qiu-hua. A Forecast Model of Monthly Electric Power Demand Based on Season Exponent and Grey Forecast[J]. *Journal of Nanjing Institute of Technology*, 2006, 4(1): 1-6. (in Chinese)
- [6] Tseng Fangmei, Yu Hsiao-cheng, Tzeng Gwoh-siung. Applied Hybrid Grey Model to Forecast Seasonal Time Series[J]. *Techno-logical Forecasting and Social Change*, 2001, 67(2): 293-294.
- [7] 戴传金, 赵修斌, 许进, 等. 基于模型化设计的进近着陆系统多径效应仿真[J]. *空军工程大学学报: 自然科学版*, 2006, 7(6): 32-35.  
DAI Chuan-jin, ZHAO Xiubin, XU Jin, et al. Based on the Modeling Design of Simulations for the Multipath Effect of the Ap-proaching Landing System[J]. *Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition*, 2006, 7(6): 32-35. (in Chinese)
- [8] Thomas Willemaip R, Charles Smatr N, Henry Schwarz F. A New Approach to Forecasting Intermittent Demand for Service Parts Inventories[J]. *International Journal of Forecasting*, 2004, 20: 375-387.
- [9] Robert C, Kline, Tovey C. Estimating Spare Parts Requirements with Commonality and Redundancy[J]. *Journal of Spacecraft and Rocket*, 44(4): 977-984.
- [10] Ghodrati, Behzad Akersten, Peranders. Spare Parts Estimation and Risk Assessment[J]. *Journal of Quality in Maintenance En-gineering*, 2007, 13(4): 353-363.

(编辑: 田新华)

## Forecast for Maintenance Spare Parts Usage of Navigation Equipment

QI Jun-yi<sup>1</sup>, GAO Yu-rong<sup>2</sup>, CHENG Shi-hui<sup>1</sup>

(1. Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China; 2. Unit 94754, Jiaxing 314013, Zhejiang, China)

**Abstract:** Spare parts are the important material basis of the usage and implement of equipment, and the estimation of the spare parts consumption is the core question in formulating the support plan, which will directly affect the performance of the follow-up work including the raising, the assignment, the storage and the appropriation. According to the history consume and the source of navigation equipment maintenance spare parts characteristic, using simple move in average to correct the historical data, adopting the season exponent to forecast the maintenance consumption of spare parts, and testing the forecasting accuracy with the model of GM(1,1). As a result, the certain navigation equipment consumption numbers of spare parts in 2008 are respectively 209 and 214. The two forecast results differ within 3%. Through the comparison between the two forecast methods, different use conditions are generalized, which can guide the further research of the forecast of spare parts.

**Key words:** navigation equipment; maintenance spare parts; forecast; season exponent; GM(1,1)

### 空军工程大学学报编辑部采用学术不端文献检测系统审稿

为了把好期刊质量关,端正学术风气,杜绝学术造假行为,学报自然科学版与军事科学版从即日起采用学术不端文献检测系统对学报来稿进行审核。该检测系统可将来稿与 CNKI 收录的全部期刊、学位论文以及会议论文中所有内容进行比对,可检测出所投文章是否存在抄袭、一稿多投、篡改实验数据等情况。如认定来稿存在学术不端行为,该文作者与文章将被加入问题库进行统一管理。投稿人在问题库中出现次数累计到一定数量将添加为黑名单。采用该系统不仅可以节省编辑以及审稿人为处理编发稿件所付出的宝贵时间和精力,也可以保护他人科研成果不被抄袭、剽窃。