

地空导弹武器系统维修费用灰色预测模型

陈尚东, 张琳, 陈永革
(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:维修费用的预测是武器装备全寿命周期费用管理的重要部分。针对地空导弹维修费用数据量有限规律性不同的特点,选用灰色理论进行维修保障费用预测:首先,简要分析了GM(1,1)模型,讨论了维修费用数据的处理;然后,以某新型地空导弹武器系统为例,具体探讨了灰色预测模型的应用,并对比分析了老信息灰色预测、新信息灰色预测和新陈代谢预测模型的精度;由实例分析可知,新陈代谢预测模型的精度更高、计算量更小。

关键词:地空导弹;维修费用;新陈代谢 GM(1,1)模型

中图分类号: TJ-9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2008)02-0072-04

据统计,武器装备维护保障费用,一般约为装备采购费用的3-20倍。因此,维护保障费用是构成武器系统全寿命周期费用的主要组成部分,准确地估算这部分费用不仅是估算全寿命周期费用的关键,而且对控制和节省这项费用,提高装备的可靠性和维修性,加强武器系统维护使用的科学管理有着十分重要的意义。

1 灰色理论在维修费用中的应用

根据维修费用样本量小的特点,本文选用灰色理论对地空导弹武器系统维修费用进行预测建模研究。

1.1 GM(1,1)模型

根据GM(1,1)模型建模机理,设有原始数据序列:

$$x^{(0)}(t) = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\} \quad (1)$$

用1-AGO(一次累加生成)生成一阶累加生成序列:

$$x^{(1)}(k) = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)\} \quad (2)$$

式中, $x^{(1)}(k) = \sum_{t=1}^k x^{(0)}(t)$, 建立一阶线性微分方程模型为

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u \quad (3)$$

用最小二乘法求出式(3)中的参数 a, u , 即

$$\hat{a} = [a, u]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y_n \quad (4)$$

式中

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)] & 1 \end{bmatrix}, Y_n = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix} \quad (5)$$

将参数向量 \hat{a} 代入微分方程,解微分方程,得时间响应函数:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{u}{a}\right)e^{-ak} + \frac{u}{a} \tag{6}$$

再作一次累减生成(1-IAGO),得预测模型为

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = (-a)\left(x^{(0)}(1) - \frac{u}{a}\right)e^{-ak} \tag{7}$$

在理论上说,GM(1,1)模型是连续时间函数,可以从初始值对 $x^{(0)}(1)$ 一直延伸到未来任何时刻,可作为长期预测模型,但随着时间推移,未来一些扰动因素将对系统产生影响。因此,为了提高预测精度,必须缩小灰平面,即在充分利用已知信息的同时,不断补充新的信息,提高灰平面的白色度。具体做法是,根据已知数列建立GM(1,1)模型,预测一个灰数值,然后将这个预测值补充在已知数列之后,构成新信息数列

$$X^{(0)}(t) = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n), x^{(0)}(n+1), \dots\} \tag{8}$$

每增加一个新数据,建立一个新信息GM(1,1)模型。但是,随着时间推移,新信息越来越多,会增加计算工作量。同时,老数据越来越不能反映系统新的情况,因此,每补充一个新数据,就去掉一个最老的数据,以保持数列的维数,再建立GM(1,1)模型,预测下一个值,再补充到数列之后,再去掉一个最老的数据,这样新陈代谢,逐个预测,依次递补,直到完成预测目标或达到一定精度要求为止。每预测一步,参数做一次修正,模型得到改进,因而预测值总是产生在动态之中,这种预测方法称为“等维灰数递补动态预测”。

1.2 数据处理

在处理费用数据时,需要考虑资金的时间价值,所谓资金的时间价值即资金随着时间的推移,其价值会增加,因为资金如果不用于现期消费(即牺牲现期消费是为了将来能得到更多的消费)而用于投资会给投资者带来资金的增值。在费用与效能的分析评价技术中,对风险因素和投资收益率以银行利率来进行折现计算,设 $A(n)$ 是未来第 n 年支付的费用, i 是年利率,则基准年的现值 P_1 为

$$P_1 = \frac{A(n)}{(1+i)^n} \tag{9}$$

物价的因素对寿命周期费用也极为重要,特别是处理较长时间内的费用数据时,对于物价的考虑更是必不可少。设年物价上涨率为 β , $A(n)$ 是未来第 n 年支付的费用,则基准年的费用现值 P_2 为

$$P_2 = \frac{A(n)}{(1+\beta)^n} \tag{10}$$

综合式(9)、(10)则第 n 年的费用折合到基准年的现值 P 为

$$P = \frac{A(n)}{(1+i)^n(1+\beta)^n} \tag{11}$$

令贴现系数为

$$B(n) = \frac{1}{(1+i)^n(1+\beta)^n} \tag{12}$$

则

$$P = A(n)B(n) \tag{13}$$

2 实例结果及误差分析

某现役新型地空导弹武器系统服役年数不长,积累的使用保障费用数据有限。各年的维修管理费如表1所示,取折现率为8%,取1999年为基准财年。

表1 设备各年的维修管理费

	Tab. 1 Each year of equipments maintenance management fee					万元
使用年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005
费用	40	42	45	49	53	59
费用期初现值	37.04	36.01	35.27	36.02	36.07	36.95

根据以上数据,建立的5维灰色设备费用为

$$X^{(0)} = \{37.04, 36.01, 35.27, 36.02, 36.07\} \tag{14}$$

按前面讨论的灰色预测模型方法计算可得灰色预测模型为

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = 35.656e^{0.002606k} \quad (15)$$

设用灰色预测模型得出的预测值为 \hat{y}_1 , 原始值和预测值可以用表 2 表示。

表 2 预测值

Tab. 2 Estimates be worth

万元

使用年份	2000	2001	2002	2003	2004
原始值	37.04	36.01	35.27	36.02	36.07
预测值 \hat{y}_1	37.04	35.75	35.84	35.94	36.03

预测值的误差分析结果如表 3 所示。

表 3 误差分析

Tab. 3 Error margins analyze

	平均绝对误差	均方误差	均方根误差	关联度分析	后验差检验
\hat{y}_1	0.252 5	0.120	0.346	0.762	一级

根据表 1 信息 $x^{(0)}(6) = 36.95$, 则新信息序列为

$$X^{(0)} = \{37.04, 36.01, 35.27, 36.02, 36.07, 36.95\} \quad (16)$$

按文献[6]可得新信息灰色预测模型为

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = 35.1203e^{0.0074k}$$

则模拟值 $x^{(0)}(6) = 36.444$, 残差 $\varepsilon(6) = 36.95 - 36.444 = 0.506$, 相对误差 $\Delta_6 = 0.506/36.95 = 1.37\%$ 。

去掉一个最老的信息 $x^{(0)}(1)$, 置入一个最新信息 $x^{(0)}(6)$, 得建模序列

$$X^{(0)} = \{36.01, 35.27, 36.02, 36.07, 36.95\} \quad (17)$$

按“等维灰数递补动态预测”方法可得新陈代谢模型为

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = 34.5594e^{0.0141k} \quad (18)$$

则模拟值为 36.565, 相对误差为 $(36.95 - 36.565)/36.95 = 1.04\%$ 。

老信息模型, 新信息模型和新陈代谢模型的精度比较, 如表 4 所示。

表 4 精度比较

Tab. 4 Accuracy comparisons

模型类别	参数		模拟值		残差		相对误差	
	a	u	$\hat{x}^{(0)}(5)$	$\hat{x}^{(0)}(6)$	$\varepsilon(5)$	$\varepsilon(6)$	Δ_5	Δ_6
老信息模型	-0.002 606	36.656	36.03	36.124	0.04	0.726	0.11%	1.97%
新信息模型	-0.007 4	35.120 3	36.175	36.444	0.095	0.506	0.26%	1.37%
新陈代谢模型	-0.014 1	35.559 4	36.053	36.565	0.017	0.385	0.05%	1.04%

由表 4 可见, 对 $x^{(0)}(6)$ 的预测精度, 新信息模型和新陈代谢模型都比老信息模型高。这表明新信息模型和新陈代谢模型预测效果都比老信息模型预测效果好。从对 $x^{(0)}(6)$ 的预测精度看, 新陈代谢模型高于新信息模型。从预测角度看, 新陈代谢模型是最理想的模型。随着系统的发展, 老数据的信息意义将逐步降低, 在不断补充新信息的同时, 及时地去掉老的数据, 建模序列更能反映系统目前的特征。此外, 及时的去掉老的数据, 还可以减少计算量, 有利于实际的运算。

3 结束语

地空导弹武器系统维修费用分析中, 用灰色预测模型可以较好地预测未来值。地空导弹武器系统一般服役年限较长, 用新陈代谢 GM(1,1) 模型预测维修费用比 GM(1,1) 预测模型精度高, 计算量小。进一步研究, 可以考虑用灰色理论解决费用的增长性问题, 用 BP 神经网络和灰色理论结合研究费用问题。

参考文献:

- [1] 陈学楚. 装备系统工程[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.
CHEN Xuechu. Equip System Engineering[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1995. (in Chinese)
- [2] 袁嘉祖. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
YUAN Jiazuz. Gray System Theories and Its Application[M]. Beijing: Science Press, 1991. (in Chinese)

- [3] 程卫国. Matlab 5.3 精要、编程及高级应用[M]. 北京:机械工业出版社,2000.
CHENG Weiguo. Matlab 5.3 Essentials, Weave Distance and High Class an Application[M]. Beijing: The machine industrial publisher,2000. (in Chinese)
- [4] Mayer ML. Army Life Cycle Cost Model for Missile Systems[R]. DCA - R - 25, AD - A04013, 1976:16 - 19.
- [5] 李建平. 国内外维修、维修性工程发展动态[J]. 中国机械工程,1998,(2):30 - 32.
LI Jianping. Maintenance, Maintainability Engineering Development a Dynamic State at Home And Abroad[J]. Chinese Mechanical Engineering,1998,12(2):30 - 32. (in Chinese)
- [6] 郭继周. 装备使用保障费用灰色建模分析[J]. 系统工程与电子技术,2004,26(1):61 - 67.
GUO Jizhou. Analysis for Operational and Operational and Support Cost of Equipment Using Grey Model[J]. System engineering and electronics technique, 2004,(1):61 - 67. (in Chinese)
- [7] 陈永革. 灰色理论在确定防空导弹武器系统经济寿命中的应用[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2001,2(6):44 - 47.
CHEN Yongge. The Gray Theories is Make Sure the Application in Antiair System Economic Life Span of the Guided Missile Weapon[J]. Journal Air Force Engineering University:Natural Science Edition,2001,2(6):44 - 47. (in Chinese)
- [8] 甘茂治. 维修性工程[M]. 北京:国防工业出版社,1991.
GAN Maozhi. Maintainability engineering[M]. Beijing:Defence industry press,1991. (in Chinese)
- [9] 甘茂治. 维修性设计与验证[M]. 北京:国防工业出版社,1996.
GAN Maozhi. Maintainability Design and Verification[M]. Beijing:National Defence Industry Press,1996. (in Chinese)
- [10] 周青龙. 可靠性与维修工程[M]. 石家庄:河北教育出版社,1992.
ZHOU Qinglong. Reliability and Maintenance Engineering[M]. Shi Jiazhuang : HeBei Educate Publisher,1992. (in Chinese)
- [11] Holcomb D H. Battle Damage Repair:An Effective Multiplier[R]. D - A 245 827,1991.
- [12] Norda G J. Impact of CR and BDAR on Maintenance[C]. //Proceedings of Annual Reliability and Maintainability Symposium, 1988:184 - 189.

(编辑:田新华)

The Application of GM (1 , 1) Model for Maintenance Cost Prediction of SAM Weapon System

CHEN Shang - dong, ZHANG Lin, CHEN Yong - ge

(Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, China)

Abstract: Estimating maintenance cost is an important part of LCC (life cycle cost) management. Due to the limitation of maintenance cost data of SAM system, GM (1,1) model is briefly analysed, the precision of maintenance cost data is also discussed. Then, aiming at a new type of SAM system, the application of GM (1,1) model is systematically discussed, and the precisions of former information GM (1, 1), new information GM (1, 1) and metabolism GM (1, 1) model are compared and analysed. According to the result of the analysis, metabolism GM (1, 1) model is accurate and less sophisticated.

Key words: surface - to - air (SAM) missile; maintenance cost; grey prediction; metabolism GM (1, 1) model