

基于改进GM(1,1)模型的导弹备件消耗预测

赵建忠^{1,3}, 徐廷学¹, 尹延涛¹, 郭宏超²

(1. 海军航空工程学院, 山东 烟台 264001; 2. 中国人民解放军91528部队, 上海 200436;
3. 中国人民解放军92752部队, 合肥 231614)

摘要: 针对导弹备件消耗受多种因素综合影响不易精确表达的问题, 提出选用灰色系统理论进行导弹备件消耗预测。备件保障实践证明, 导弹备件消耗与装备固有可靠性、战备任务、环境条件等因素密切相关, 在GM(1,1)模型基础上, 结合导弹备件保障工作实际, 建立了加入影响因子的改进GM(1,1)模型。结果表明, 该模型考虑了影响备件消耗的主要因素, 具有更高的预测精度和重要的实用价值。

关键词: 导弹; 备件; GM(1,1)模型; 影响因子; 消耗预测

中图分类号: TP391.9; TJ760.7 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2012)03-0048-04

Consumption Forecasting of Missile Spare Parts Based on Improved GM(1,1) Model

ZHAO Jian-zhong^{1,3}, XU Ting-xue¹, YIN Yan-tao¹, GUO Hong-chao²

(1. Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China;

2. Unit 91528 of PLA, Shanghai 200436, China; 3. Unit 92752 of PLA, Hefei 231614, China)

Abstract: Missile spare parts consumption is synthetically affected by multi-factors and not easily be expressed precisely. The thought of forecasting missile spare parts consumption with grey system theory was put forward to solve the problem. The practice of spare parts support proved that missile spare parts consumption is correlated with equipment intrinsic reliability, combat mission and environmental condition; so amendatory GM(1,1) model with influencing factors was established. The results proved the model is referring to main influencing factors of missile spare parts consumption, has better forecast precision, and has important application value.

Key words: missile; spare parts; GM(1,1) model; influencing factors; consumption forecasting

备件消耗预测是推进导弹装备精确化保障的有效途径。目前, 关于导弹备件消耗预测方法或模型的研究很多, 主要包括回归分析法、时间序列预测方

法、神经网络预测方法、灰色系统理论等^[1-2]。然而, 回归分析法需要较多的输入样本, 只注重对过去数据的拟合, 不注重外推, 预测精度低; 时间序列预测

收稿日期: 2011-11-07

作者简介: 赵建忠(1978—), 男, 山东聊城人, 工程师, 博士研究生, 主要研究方向为装备保障。

方法通过寻求样本数据和时间变量之间的关系来确定模型参数,本质上仍然属于回归分析范畴;神经网络预测方法对样本数量有一定的要求,训练样本量越大精度越高;灰色系统理论具有样本数据少、原理简单、运算方便、短期预测精度高、可检验等优点,因此得到了广泛的应用^[3]。

一般来说,导弹装备部署数量有限且有规定的使用寿命,与备件消耗有关的保障数据和信息也相对较少。导弹备件消耗受装备固有可靠性、战备任务、环境条件、人为操作等多种不确定性因素的综合影响,根据灰色系统理论“少数据建模”且对数据没有“苛刻”要求的特点,选用灰色系统理论建立导弹备件消耗预测模型。然而,灰色系统理论也有一定的局限性,尤其是它不能反映出系统中主要影响因素对目标值的作用。备件保障实践证明,有些因素对备件消耗的影响非常显著,为了加强灰色预测模型在导弹备件消耗预测中的适用性,笔者结合导弹备件保障特点建立了加入影响因子的改进灰色预测模型,使预测结果更加准确。

1 一般序列的GM(1,1)建模与预测

灰色预测模型是将观测数据序列看作随时间变化的灰色过程,通过累加生成挖掘出系统潜藏的有序指数规律,从而建立相应的预测模型。 $GM(1,1)$ 模型是最常用的一种灰色模型,由一个包含单变量的一阶微分方程构成。建立 $GM(1,1)$ 模型的实质是对原始数据作一次累加生成,使生成数据呈一定规律,通过建立微分方程模型,求得拟合曲线,用以对系统进行预测^[4]。对于导弹备件消耗预测问题,从建模可行性分析、数据变换处理、模型建立和模型精度检验几个环节^[5-6],建立最基本最适用的 $GM(1,1)$ 模型,其具体步骤如图1所示。建模过程可以由MATLAB编程实现。

2 加入影响因子改进GM(1,1)模型的建立

1) 在预测模型中添加影响因子。考虑级比和影响因子,得出模型改进式(1)。

$$\begin{cases} \hat{x}^{(1)}(k) = x^{(1)}(k), k = 1, 2, \dots, n-1 \\ \hat{x}^{(1)}(n) = (2 + a + \sigma(n))x^{(1)}(n) \end{cases} \quad (1)$$

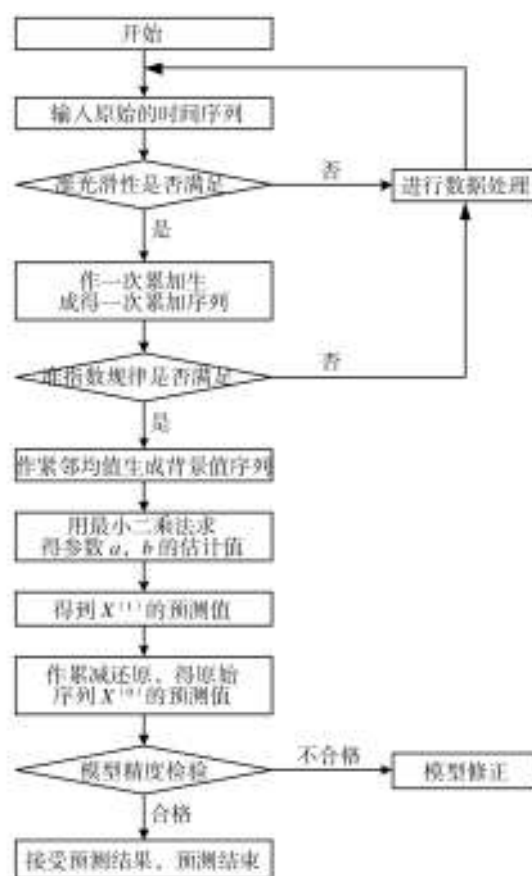


图1 GM(1,1)模型预测流程

Fig. 1 Forecast flow chart of $GM(1,1)$ model

式中: $\hat{x}^{(1)}(k)$ 表示在进行修正时前 $n-1$ 个数不变, 只是在第 n 个数据的值上加以修正; $\sigma(n) = \frac{x^{(1)}(n)}{x^{(1)}(n-1)}$, 为 x 在 n 时刻的级比; a 为预测时刻数据的估计百分比。采用处理后的序列建立 $GM(1,1)$ 模型, 利用这种方法建立的模型即是加入影响因子的 $GM(1,1)$ 模型^[7]。

2) 影响因子的确定。以往给出的影响因子的判别式很笼统, 或依照上级命令给出 a 的数值, 或受到某一因素的影响 a 的数值应该是多少, 这些说法缺少依据。笔者在试验分析的基础上, 给出了自己的理解, 分析过程如下。

(1) 分析导弹备件消耗的影响因素。

(2) 对影响因素进行量化, 得到样本数据。某一影响因素在某年的数值, 用量化后的数据 $a_i(n)$ 表示, 其中: t 为年度; n 为该影响因素的序号。

(3) 对各影响因素进行无量纲化处理。在获得

样本数据后,由于其中各个指标因素互不相同,原始样本中各影响因素的单位与量级也不同,需要对样本数据进行无量纲化处理,将其转换为区间[0,1]之间的数据。

(4) 求出影响因子。经过推导,影响因子为^[8]:

$$a = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [\hat{a}_i(i) - \bar{\hat{a}}_i(i)]^2} \quad (2)$$

式中: $\bar{\hat{a}}(n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{a}_i(i)$, $\hat{a}_i(i)$ 为影响因子。

影响因子可正可负,经反复提取数据进行运算验证,可得出判断准则如下:

在某一年度里,比较 $\hat{a}_i(n)$ 与 $\bar{\hat{a}}_i(n)$, 设有 k 组情况满足 $\bar{\hat{a}}_i(n) \geq \hat{a}_i(n)$, 当 $k < \frac{n}{2}$ 时, a 取正值,否则取负值。

3 实例分析

据调研分析,某类导弹备件 1998—2007 年的消耗量统计数据见表 1。

表 1 导弹备件 1998—2007 年消耗量统计

Table 1 Consumption statistics of missile spare during 1998–2007

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
年份	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
消耗量/件	40	34	20	25	35	42	38	33	24	36

表 2 预测结果对比表

Table 2 Contrast table between the real value and the forecasted value

年份	实际值/件	预测值/件	残差	误差/%
1998	40	—	—	—
1999	34	29.5	4.5	13.2
2000	20	30.1	-10.1	-50.4
2001	25	30.6	-5.6	-22.2
2002	35	31.2	3.8	10.7
2003	42	31.8	10.2	24.4
2004	38	32.5	5.5	14.5
2005	33	33.1	-0.1	-0.3
2006	24	33.8	-9.81	-40.9
2007	36	34.4	1.6	4.4

1) 利用 $GM(1,1)$ 模型,进行导弹备件消耗预测。

原始序列为 $X^{(0)} = \{x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, x_3^{(0)}, \dots, x_{10}^{(0)}\} = \{40, 34, 20, \dots, 36\}$

即累加后的数据列为:

$X^{(1)} = \{40, 74, 94, 119, 154, 196, 234, 267, 291, 327\}$

可以看出新序列具有单调增加的趋势,可以用适当的函数来描述。经检验该序列具有光滑性,符合灰色模型应用条件,因此可以运用灰色模型系统进行建模。

经计算,可得备件年度消耗预测值,结果见表 2。由此可以看出,直接套用 $GM(1,1)$ 模型而不加任何修正条件,得到的预测数据与实际数据误差较大。

2) 利用影响因子,改进 $GM(1,1)$ 模型。

(1) 分析影响导弹备件消耗的因素,并进行量化处理。经分析,影响该类导弹备件消耗的主要因素如下。

A: 备件的固有可靠性,把导弹装备定检过程中发现的失效零部件数作为自然消耗的导弹备件数,并对其进行量化处理。

B: 环境因素,根据该部队气象部门的统计资料,

将其量化为根据环境的严酷度所划分的 7 个等级,并相应地量化为 7~1 之间的整数值,数值越大表示严酷程度越高,环境越恶劣。

C: 人为因素,因人为因素导致的零部件失效数作为该影响因素的量化值。

D: 年度重大演习任务次数,将其作为量化值。

E: 执行任务时间,根据平时的训练计划可以统计出该型号导弹年度战备值班的总时间,单位为小时,直接作为量化值。

F: 年度使用、维修与定检中该部件被拆卸的总次数,直接作为量化值。

影响因素的相关数据由于保密原因,这里没有一一列出。

(2) 对各影响因素进行无量纲化处理。

对影响因素处理进行无量纲化处理,结果见表3。

表3 影响因素量化值

Table 3 Influencing factors quantification

年份	影响因素量化值						实际 消耗量/件
	A	B	C	D	E	F	
1998	0.67	1.00	0.75	0.67	0.75	0.56	40
1999	0.00	0.50	0.25	0.33	0.17	0.00	34
2000	0.00	0.50	0.50	0.00	0.19	0.32	20
2001	0.33	0.25	0.25	0.33	0.00	0.16	25
2002	0.00	0.50	1.00	0.67	1.00	0.64	35
2003	0.33	0.50	0.50	0.00	0.38	0.40	42
2004	0.67	1.00	0.50	0.33	0.81	0.72	38
2005	0.67	0.00	0.00	0.67	0.65	0.88	33
2006	0.00	0.00	0.50	0.33	0.77	0.40	24
2007	1.00	0.25	1.00	1.00	0.41	1.00	36

(3)分析导弹备件消耗的影响因子。

根据式(2)可求出影响因子的值,结果见表4。

(4)计算加入影响因子后的预测值

根据级比的定义,求出全部的级比,结果见表5。

根据式(1)可求得预测值,结果如图2所示。由图2可以看出,加入影响因子后预测值的精确度有了很大提高。

3)模型的检验。

对上述模型进行后验差检验。计算可得:残差的均值为-0.68,均方差比值为0.41,模型精度为1级,小误差概率为0.74,模型精度为2级。由此可知,该模型可用于备件消耗预测。

4 结语

在导弹备件消耗GM(1,1)模型中,预测结果仅

表4 影响因子值

Table 4 Value of influencing factor

年份	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
影响因子 a	-0.15	0.45	-0.26	-0.11	0.37	0.22	0.13	-0.08	-0.18	0.39

表5 级比值

Table 5 Value of ratio

序号	2	3	4	5	6	7	8	9	10
级比值 $\sigma(i)$	0.74	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02

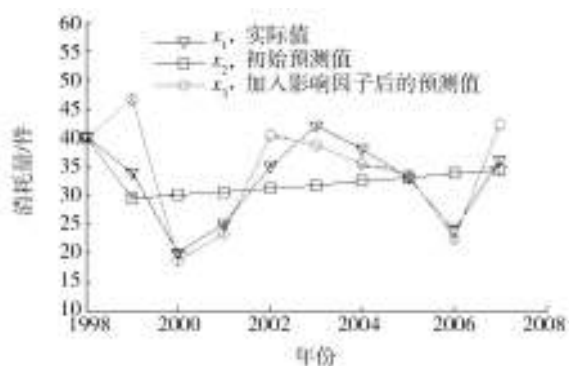


图2 消耗量的总对比

Fig. 2 Contrast diagram of consumptions

仅与历史数据有关,这种预测虽然能够以较高精度拟合已知值,但没有考虑其他因素对备件消耗的影响,

其预测结果不一定能够真实反映备件消耗在未来的变化趋势。通过在导弹备件消耗预测过程中考虑主要因素的影响,对GM(1,1)模型加入影响因子。实例计算表明,加入影响因子的GM(1,1)模型在进行导弹备件消耗预测时具有较高的精度和较好的适应性,对备件保障工作具有重要的实用价值。

参考文献:

- [1] 李武胜. 备件需求预测技术综述[J]. 物流技术, 2007, 26(8): 30—33.
- [2] 王宏焰, 高崎, 王家鹏. 装备维修器材消耗预测综述[J]. 四川兵工学报, 2008, 29(5): 92—96.
- [3] 韦康南, 姚立纲, 吴志欢. 基于灰色理论的产品寿命预测 (下转第70页)

作用,浸泡1 a的船体钢外锈层对腐蚀影响较小,Cr元素在内锈层和基体交界面的富集是决定腐蚀速率的主要因素。

2) 内锈层的缺陷使锈层对船体钢基体的保护效果变差,缺陷部位对应着基体上的腐蚀坑。其中,c钢的最大腐蚀深度较大,但腐蚀速率最小。

参考文献:

- [1] 张承忠. 金属的腐蚀与保护[M]. 北京:冶金工业出版社, 2000.
- [2] MELCHERS R E, JEFFREY R. Early Corrosion of Mild Steel in Seawater[J]. Corrosion Science, 2005, 47 (7): 1678—1693.
- [3] 徐龙娇,董超芳,肖葵,等. Cl⁻作用下碳钢和耐候钢大气初期腐蚀的 Kelvin 探针研究[J]. 北京科技大学学报, 2010, 32(5): 581—588.
- [4] 张全成,王建军,吴建生,等. 锈层离子选择性对耐候钢抗海洋性大气腐蚀性能的影响[J]. 金属学报, 2001, 37 (2): 193—196.
- [5] 王建民,陈学群,李国民,等. 两类船用低合金钢耐点蚀性能的比较[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2005, 25 (6): 356—360.
- [6] 邹妍,王佳,郑莹莹. 锈层下碳钢的腐蚀电化学行为特征[J]. 物理化学学报, 2010, 26(9): 2361—2368.
- [7] PINEAU S, SABOT R, QUILLET L. Formation of the Fe (II - III) hydroxysulphate Green Rust during Marine Corrosion of Steel Associated to Molecular Detection of Dissimilatory Sulphite-reductase[J]. Corrosion Science, 2008, 50(4): 1099—1111.
- [8] 张全成,吴建生,陈家光,等. 暴露1年的耐大气腐蚀用钢表面锈层分析[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2001, 21 (5): 297—300.
- [9] 魏宝明. 金属腐蚀理论及应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2004.
- [10] 王建军,郭小丹,郑文龙,等. 海洋大气暴露3年的碳钢与耐候钢表面锈层分析[J]. 腐蚀与防护, 2002, 23 (7): 288—291.

(上接第51页)

- 研究[J]. 计算机集成制造系统, 2005, 11 (10): 1491—1495.
- [4] 刘祥华,张作刚. 基于灰色系统理论的小样本飞机航材消耗预测[J]. 统计与决策, 2007(11): 39—41.
 - [5] 贾占强,梁玉英. 灰色 GM(1,1)模型在电子装备寿命预测中的应用[J]. 火力与指挥控制, 2008, 33(11): 134—136.

- [6] 李建民. 基于灰色理论的舰船装备剩余寿命预测模型[J]. 舰船电子工程, 2009, 29(3): 99—101.
- [7] 杨云川,王新颖,张旭波. 引入修正因子的研究生招生等维新息预测模型[J]. 辽宁科技大学学报, 2010, 33(3): 285—288.
- [8] 王永刚,吕学梅. 民航事故征候的关联度分析和灰色模型预测[J]. 安全与环境学报, 2006, 6(6): 127—130.

(上接第58页)

该系统的跟踪误差为 $\pm 0.5^\circ$, 具有良好的跟踪精度。

3 结论

文中介绍的太阳跟踪系统结构简单、能实现对太阳的全天候自动跟踪。该跟踪装置以视日运动轨迹为模型,利用PLC控制步进电机进行驱动,使成本大幅度降低,具有较好的太阳相对位置测量精度和

太阳自动跟踪速度。该装置已成功应用于自然环境加速试验中,并且获得了国家发明专利授权。

参考文献:

- [1] 林晓钢,高潮,郭永彩,等. 自然环境加速实验装置中自动太阳跟踪方法[J]. 重庆大学学报, 2002, 26(5): 115—117.
- [2] 杨晓然,李迪凡,周学斌,等. 一种大气环境综合自然加速试验系统:中国, 101718676 A[P]. 2010-06-02.