

# 一种用于装备维修器材消耗预测的 灰色残差修正模型

赵平, 刘宝平, 黄栋

(海军工程大学 装备经济管理系, 武汉 430033)

**摘要:** 装备维修器材的使用管理过程中常受多方面因素影响, 致使器材消耗量数据离散程度较大, 现有的灰色预测方法难以有效处理。为此, 提出了一种灰色-马尔柯夫残差修正器材消耗模型, 通过消除传统方法对残差信息的掩盖性来获得更精准的预测结果。将该模型应用于某型舰船的某种维修器材消耗量预测, 预测精度有了较明显提高, 并较真实地反映了维修器材的消耗规律。

**关键词:** 维修器材; 消耗规律; 灰色预测; 残差修正

**本文引用格式:** 赵平, 刘宝平, 黄栋. 一种用于装备维修器材消耗预测的灰色残差修正模型[J]. 四川兵工学报, 2014(5): 62-65.

中图分类号: TJ760

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2014)05-0062-04

## Grey Prediction Model with Residual Error Correction for Equipment Maintenance Apparatus Consumption Prediction

ZHAO Ping, LIU Bao-ping, HUANG Dong

(Department of Equipment Economic and Management, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

**Abstract:** Quantities of equipment maintenance apparatus are often affected by various factors during their utilizing and management processes. Thus the apparatus consumption quantities are often with heavy diffuseness, which cannot be dealt successfully with existing grey prediction models. A grey-Markov residual error correction model is proposed to improve the prediction accuracy by eliminating the ignoring of residual values in the traditional method. A certain apparatus consumption quantity for some vessel maintenance prediction problem validate our methods with more accurate prediction results. And the consumption law of the maintenance apparatus realistically is recovered too.

**Key words:** maintenance apparatus; consumption law; grey prediction; residual error correction

**Citation format:** ZHAO Ping, LIU Bao-ping, HUANG Dong. Grey Prediction Model with Residual Error Correction for Equipment Maintenance Apparatus Consumption Prediction [J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2014(5): 62-65.

装备维修器材包括在装备维护和修理过程中所需要的各种设备、装置、器械、工具、仪表及零件、部件、原材料等。在新军事变革和高技术战争时代, 大批的新型装备相继服役。装备的种类越来越多, 科技含量越来越高, 导致装备维修器材的需求量复杂变化趋势。为了保障装备平时处于良好战备状态、提高战时装备再生能力, 对于维修器材消耗规

律的研究显得十分必要。

目前, 常用的器材消耗预测方法有主观决策法、回归分析法、时间序列法以及灰色预测法等。其中, 主观决策法主要适用于原始数据少的情况, 但这种方法容易受到主观因素影响, 精度不高。而回归分析法往往只能考虑少数主要因素的影响, 忽视了其他因素, 在影响因素较多的情况下, 会降低

收稿日期: 2014-01-05

作者简介: 赵平(1989—), 女, 硕士研究生, 主要从事装备经济管理研究。

预测的准确性<sup>[1]</sup>。相比起来,时间序列法原理简单,应用也比较广泛,前提是必须保证大样本量。灰色预测法自提出以来,凭借着计算方法简单,对样本量要求不高等特点,已经被大量应用到社会、经济、军事、气象、工程技术等领域,引起了广泛的关注,同时GM(1,1)模型也具有一定的局限性。

由于装备维修器材在使用管理过程中容易受到不同因素影响,基础数据波动较大,使得现有预测方法很难对其进行有效预测。为此,本文在传统灰色预测的基础上,增加对灰色残差进行修正的考虑。

## 1 问题分析

影响装备维修器材消耗量的因素有很多:地域环境、使用情况、维修级别、维修次数、故障率、可修性、维修制度等。其中,有些因素可以直接作为自变量,有些因素却很难量化,有些因素很关键,有些因素则作用不大,而且在不同因素影响下的器材消耗特点也各不相同<sup>[2]</sup>。加之各种突发情况以及重大任务等导致消耗数据的离散程度较大。同时我军的数据收集工作起步比较晚,现有可用数据相对有限的影响,使得很多预测方法都无法施展。

以某型舰船的某种维修器材为例,选取2003—2012近10年的消耗数据。从表1和图1可以看出消耗数据波动较大,但总体呈上升趋势。

表1 某型舰船的某种维修器材的年消耗量

年份	2003	2004	2005	2006	2007
消耗量(件)	60	72	81	94	108
年份	2008	2009	2010	2011	2012
消耗量(件)	103	95	77	101	79

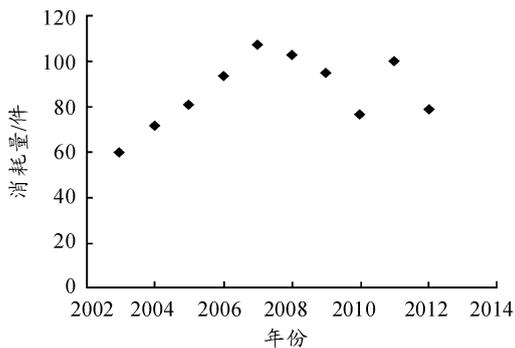


图1 某型舰船的某种维修器材的年消耗量

一般来说,可以采用多元回归预测法、时间序列法以及灰色预测法等来处理具有此类趋势的序列。但考虑到影响因素以及样本量的原因,采用多元回归预测法和时间序列法通常精度不高。与前者相比起来,灰色预测法应用环境相对宽松,可以不必考虑部队类别和地理环境的等因素影响,同时可对预测结果作精度验证,更适合于维修器材消耗预

测<sup>[3]</sup>。但是,由于消耗数据并不是严格按照指数规律变化,且波动较大,单纯依靠灰色预测模型很难精准地预测结果。在研究过程中发现,通过数据预处理提高数据的有效性,并将灰色理论与马尔柯夫过程相结合用于残差修正模型,可明显提高灰色预测的准确性。

## 2 灰色残差修正模型

### 2.1 灰色预测模型

若某一系统的全部信息已知,则称之为白色系统,全部信息未知则为黑色系统,灰色系统介于白色系统和黑色系统之间<sup>[4]</sup>。灰色系统理论将随机量看作是在一定范围内变化的灰色量。在处理灰色量时,不是通过大样本量研究找规律,而是将离散的数据进行数据处理后再作研究。建立GM(1,1)模型的实质是对原始数据作一次累加生成,使生成数据成一定的规律,再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<sup>[5]</sup>。

设某器材消耗量的原始数列

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

根据灰色系统预测原理,用 $x^{(0)}$ 做一次累加生成得到新序列

$$x^{(1)}(k) = \sum_{m=1}^k x^{(0)}(m), x^{(1)}(1) = x^{(0)}(1) \quad (1)$$

针对新序列建立白化微分方程

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b$$

其解为

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

再做累减生成,实现数据还原

$$x^{(0)}(\hat{k} + 1) = x^{(1)}(\hat{k} + 1) - x^{(1)}(\hat{k})$$

### 2.2 残差修正模型

原始数据和灰色预测值之差为

$$e^{(0)}(k) = x^{(0)}(k) - x^{(1)}(\hat{k})$$

以残差为研究对象,令 $k=1, 2, \dots, n$ ,生成残差序列

$$e^{(0)}(k) = \{e^{(0)}(1), e^{(0)}(2), \dots, e^{(0)}(n)\}$$

将残差序列作为GM(1,1)的模型输入。注意到,在残差序列中,元素的符号有正有负,在代入模型之前需要对残差序列进行正化处理

$$e^{(0)}(k)' = |e^{(0)}(k)|$$

组成新序列,按照建立灰色预测模型的步骤得到时间响应函数

$$e^{(1)}(\hat{k} + 1)' = \left(e^{(0)}(1) - \frac{b'}{a'}\right)e^{-a'\hat{k}} + \frac{b'}{a'}$$

残差预测值为

$$e^{(0)}(\hat{k})' = e^{(1)}(\hat{k} + 1)' - e^{(1)}(\hat{k})'$$

得到 $e^{(0)}(\hat{k})'$ ,从而得到

$$e^{(0)}(k) = \beta(k) e^{(0)}(\hat{k})', \beta(k) = \begin{cases} 1, & e^{(0)}(k) > 0 \\ -1, & e^{(0)}(k) < 0 \end{cases}$$

其中,残差系数 $\beta(k)$ 是由残差的正负决定的。但是,当 $k > n$ 时, $\beta(k)$ 的取值是 $-1$ 还是 $+1$ 是不确定的。此时,引入马尔柯夫过程:它认为在事物的发展的过程中,从一种状态转变到另一种状态是具有转移概率的,而这种转移概率是可以通过前次情况推算出来的,转移概率组成转移矩阵

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1r} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2r} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ p_{r1} & p_{r2} & \cdots & p_{rr} \end{bmatrix}$$

通过确定转移矩阵、初始状态,根据状态转移公式,求出残差系数 $\beta(k)$ 。

### 3 应用分析

#### 3.1 数据预处理及初步预测

建立GM(1,1)模型的前提是初始数列 $x(0)$ 为光滑离散函数<sup>[6]</sup>。预测前首先对原始消耗数据进行光滑度处理,将原始数据调整为更适合灰色预测模型的形式。目前光滑度处理的方法有幂函数、负指数函数等,本文采用对数函数转化对数据进行预处理。然后根据灰色理论建立预测模型,从表2可以看出:均方误差达到133.12,预测结果并不是很理想。

#### 3.2 残差修正模型

对2005年到2012年的残差数据: $-7, 5, 18, 12, 3, -15, 8, -15$ 进行非负处理,并重新编号: $1, 2, \dots, 8$ ,作为模型输入

的原始变量。

按照模型建立的步骤,得到残差预测公式

$$\begin{cases} e^{(0)}(1)' = |-7| = 7 \\ e^{(0)}(\hat{k} + 1)' = 66.25(e^{0.03 \langle k+1 \rangle} - e^{0.03k}) \\ e^{(0)}(\hat{k} + 1) = \beta(k)66.25(e^{0.03 \langle k+1 \rangle} - e^{0.03k}) \end{cases}$$

年消耗量的预测值为: $x^{(0)}(\hat{k} + 1)' = x^{(0)}(\hat{k} + 1) + e^{(0)}(\hat{k} + 1)$ ,预测结果如表2所示:均方误差有了明显的变化,数据拟合效果比较好。接下来利用马尔柯夫过程确定 $k = 11$ 时的残差系数,判定步骤如下:

1) 确定状态: $+1, -1$ 。

2) 状态转移矩阵

列表:

	+1	-1
+1	2	2
-1	1	0

得到转移矩阵

$$P = \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

3) 初始状态

当 $k = 10$ 时,状态为 $-1$ ,初始状态为 $S(0) = (0 \ 1)$ 。

4) 预测 $k = 11$ 时的状态 $S(1) = S(0) \cdot P = (1 \ 0)$ ,出现状态 $+1$ 的概率为1,所以 $k = 11$ 的状态为 $+1$ ,残差修正为 $+13$ ,预测2013年该器材的年消耗量为108件。

表2 预测结果

时序	年份	原始数据	预处理	预测值	残差	残差平方	残差修正值	灰色残差预测值	改进残差	改进残差平方
1	2003	60	4.09							
2	2004	72	4.27							
3	2005	81	4.39	88	-7	49				
4	2006	94	4.54	89	5	25				
5	2007	108	4.68	90	18	324	8.52	99	9	81
6	2008	103	4.63	91	12	144	9.09	100	3	9
7	2009	95	4.55	92	3	9	9.73	102	-7	49
8	2010	77	4.34	92	-15	225	-10.42	82	-5	25
9	2011	101	4.61	93	8	64	11.2	104	-3	9
10	2012	79	4.36	94	-15	225	-12.05	82	-3	9
11	2013			95		133.1	13	108		30.3

### 3.3 模型检验

一个模型只有通过检验才能保证其合理性,才能用于器材消耗的预测。灰色预测模型的检验通常采用后验差和小概率频率检验。检验公式如下

$$\begin{cases} C = \sqrt{\frac{S_2^2}{S_1^2}} \\ p = p\{|e(k)| < 0.6745S_1\} \end{cases}$$

其中: $C$ 为后验差比值; $p$ 为小误差频率; $S_1^2$ 为原始数据的离差; $S_2^2$ 为残差的离差。

计算得到检验值如表3所示,比较2种模型的检验值,改进后的残差修正模型的检验结果为: $C = 0.34 < 0.35$ , $p = 1 > 0.95$ ,鉴定模型为一级。

表3 模型精度检验值

	后验差比值 $C$	小误差频率 $p$
灰色预测模型	0.78	0.56
灰色残差修正模型	0.34	1

### 3.4 与传统灰色预测模型比较分析

1) 通过光滑度处理,将原始数据转化为适合灰色预测模型的形式,提高了数据的适用性,增强了预测结果的可靠性。

2) 将残差修正的方法引入到灰色预测模型当中,克服了在维修器材消耗预测中精度不高的问题,通过将灰色理论与马尔柯夫过程组合起来,建立残差修正模型,从预测结果来看,较灰色预测模型相比精度有了明显的提高。

3) 该模型通过了后验差以及小误差概率检验,适用于短期预测。

## 4 结束语

利用灰色理论和马尔柯夫过程相结合的办法对灰色预测模型进行改进,通过实例分析表明,该方法精度较高,对于小样本且离散程度大的维修器材消耗数据分析具有较好的实用价值。该模型的建立为准确预测装备维修器材消耗量提供了一种科学有效的方法,对提高装备保障水平,满足装备保障的多样化需求具有极其重要的意义。

## 参考文献:

- [1] 董鑫,宋贵宝,徐珂文. 器材消耗预测方法综述[J]. 四川兵工学报,2011,32(9):147-150.
- [2] 李彦,宋宁哲,王盛超,等. 基层级雷达装备维修器材消耗预测模型研究[J]. 舰船电子工程,2013,33(2):105-108.
- [3] 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.
- [4] 狄鹏. 预测与决策[M]. 武汉:国防工业出版社,2007.
- [5] 徐廷学. 基于灰色预测法的军械维修器材消耗规律[J]. 火力与指挥控制,2011,36(11):163-167.
- [6] 邓聚龙. 灰预测与灰决策[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2002.
- [7] 赵建忠,徐廷学,刘勇,等. 基于粗糙集和BP神经网络的导弹备件消耗预测[J]. 兵工自动化,2012(7):66-71.

(责任编辑 杨继森)