

[文章编号] 1003—4684(2019)02-0053-03

基于灰色系统理论的数控车床故障时间预测

王 藏^{1,2}, 刘光亚¹

(1 湖北工业大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430068;

2 湖北水利水电职业技术学院机电工程系, 湖北 武汉 430070)

[摘 要] 为了在小样本条件下预测数控机床的故障率,分析数控机床故障和故障发生的时间特征,并基于灰色理论中的灰色预测方法建立故障时间预测模型,对故障发生的时间进行预测。结果表明:数控机床发生故障时间预测的相对误差低于 1.62%,精度达 1 级,为预防故障发生及维修提前做好准备。

[关键词] 灰色系统理论; GM(1,1)模型; 数控车床故障预测; 故障时间

[中图分类号] TG659

[文献标识码] A

数控机床是典型的机电一体化产品。影响其工作状况的既有确定性因素,又有非确定性因素,且故障样本少。因为传统的统计方法以大样本为基础^[1],而灰色理论在满足观测数据不少于 4 个的情况下即可进行预测,在小样本数据预测中具有显著优势。

目前,在数控机床故障率的预测模型方面,国内外学者做了大量理论和试验研究。MIZE C D, et al 利用人工神经网络对数控机床故障率的预测建模^[2];杨建国等利用最小二乘法对数控机床故障率的预测拟合建模^[3];李永祥等基于时间序列分析对数控机床故障率的预测建模^[4];林伟青等提出基于动态自适应加权最小二乘支持矢量机的数控机床热误差建模方法^[5];陈保家等利用运行状态信息的可靠性对机数控机床故障率进行预测^[6];杨建国等利用数控机床可靠性指标的似然比检验区间对机数控机床故障率进行预测^[7]。这些建模方法取在小样本条件下很难做到精确预测数控机床的故障率。数控车床故障预测一般从系统信息已知和系统信息部分已知进行^[8],但是因为建模方法基于经验,预测能力相对有限,且对实际运行的机床指导能力也有限。本文为了在小样本条件下提高预测的精度并准确进行机床的故障预测,将灰色预测法理论应用于实际运行机床故障预测分析。就灰色系统理论在数控车床故障率预测模型中的应用研究,目前国内外文献未见相关报道。

1 灰色理论和 GM(1,1)模型

一个由多个因素组成的系统,如果构成该系统的因素是明确的,因素与因素之间的关系也是明确的,系统结构、系统原理明确,那么该系统就是一个白色系统^[9]。如果该系统缺乏任何信息,则该系统为黑色。在黑色系统和白色系统之间的系统为灰色系统(Grey System),即一部分信息是已知的,另一部分信息是未知的^[10-11]。

建立预测模型 GM(1,1)的步骤方法如下。

1)累加生成运算

设有原始等间隔数据序列

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

对原始序列 $x^{(0)}$ 进行一次累加(1-AGO)生成序列,得

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

2)作紧邻均值

对 $x^{(1)}$ 作紧邻均值生成序列,由

$$z^{(1)}, z^{(1)}(k) = 0.5(x^{(1)}(k) + x^{(1)}(n-1))$$

得

$$z^{(1)}(k) = (z^{(1)}(2), z^{(1)}(2), \dots, z^{(1)}(n)); k = 2, 3, \dots, n$$

3)微分方程求解

根据已知的多点数据,采用最小二乘法对参数列 $\hat{a} = [a, b]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y$ 求解矩阵方程,得 $\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y$

[收稿日期] 2018—06—04

[第一作者] 王 藏(1983—),男,山东曹县人,湖北工业大学硕士研究生,研究方向为控制工程

$$Y_1 = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}, \quad Y_2 = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}$$

4)确定模型及时间响应序列

确定 GM(1,1)模型 $\frac{dx^{(1)}}{dt}+ax^{(1)}=b$ 。及时间响应序列为

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

5)求模拟值

$x^{(1)}$ 的模拟值

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} + \frac{b}{a}$$
$$\hat{x}^{(1)} = (\hat{x}^1(1), \hat{x}^1(2), \cdots, \hat{x}^1(n)) =$$

$(x^{(0)}(1), x^{(1)}(1) + x^{(0)}(2), \cdots, x^{(1)}(n-1) + x^{(0)}(n))$

6)还原模拟值

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

7)精度检验,修正模型。

2 数控机床实际故障时间

目前,国内数控系统的可靠性数据通常是通过定时和截尾统计测试程序获得的。常用的确定故障分布模型数理统计方法是等时间间隔频率的方法,也就是说,根据故障事件发生总数,将统计出的总时间分隔成几个相等的时段,将一次考核的多台数控机床的故障时间观测值从小到大排序,统计落入各个区间的样本数和频率^[12]。时段的确定在很大程度上取决于主观经验。此外,对于高可靠性产品,单个产品失效时间的样本点较少,得到的离散点不足以判断母体的分布类型^[13]。

而故障时间法是将同系列多台数控机床的故障时段综合统计到一台数控机床系统上,得到总的故障时段的样本测量值^[14],这样可以有效地解决单个数控机床系统样本点较少的问题。

其计算方法如图 1 所示^[15]。

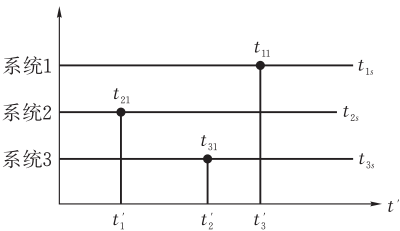


图 1 故障实际时间计算方法

图 1 中: $t_{is}(i=1,2,3)$ 为第 i 台数控系统终止试验时间; t_{ij} 为第 i 台系统发生第 j 次故障的时间。

各故障点的总时间计算公式为

$$t'_1 = 3t_{11}, t'_2 = 3t_{22}, t'_3 = 3t_{33}$$

统计同系列多台机床每一个系统(如刀架系统、装夹系统、传动系统及主轴组件、进给系统、排屑系统、电源与电气系统、液压系统、CNC 系统、冷却系统、润滑系统及其他等)发生故障实际时间,把故障时间累加起来^[6],即为某数控机床实际故障时间(表 1)。

表 1 某数控机床实际故障时间统计

故障次数	故障时间/h	故障次数	故障时间/h
1	470.71	5	579.56
2	493.72	6	605.88
3	519.08	7	648.17
4	547.13	8	702.32

以故障实际发生时间为研究对象,通过分析故障发生的时间特征,基于灰色理论中的灰色预测方法,建立故障预测模型,以探索数控机床故障的发生规律。

3 数控车床故障实际时间结果与检验

以数控机床故障实际时间数据为基础,建立 GM(1,1)模型,经计算得到相关系数 $a = -0.058\ 123, b = 446.560\ 645$,并以此建立数控机床故障实际时间的 GM(1,1)模型的数学表达式

$$\hat{x}(k+1) = (1 - e^{-0.058123})(x^{(1)} - \frac{446.560645}{-0.058123}) \cdot e^{-(0.058123)k}, k = 1, 2, 3, \cdots, n$$

运用以上模型求得原始数据的还原值(表 2)。

表 2 某数控机床故障实际时间的灰色 GM(1,1)模型参数与预测精度

故障次数	故障时间/h	预测故障时间/h	相对误差/%
1	470.71	470.71	0
2	493.72	487.96	-1.16
3	519.08	517.17	-0.37
4	547.13	548.11	0.18
5	579.56	580.92	0.23
6	605.88	615.68	1.62
7	648.17	652.53	0.67
8	702.32	691.58	-1.53

采用后验差检验法进行模型检验,其主要数据:故障时间平均值 \bar{x} 为 570.821 h,故障时间方差 S_1^2 为 5473.19,残差平均值 $\bar{\epsilon}$ 为 -0.24。残差方差 S_2^2 为 33.70,后验差比值 C 为 0.078,小误差频率 P 为 1。

根据灰色预测精度检验的等级标, $C = 0.078 < 0.35, P = 1 > 0.9$,可见预测精度的等级为一级,所以建立的模型通过检验,可以用来预测。

据此模型,对后几组故障次数时间进行预测(图 2)。

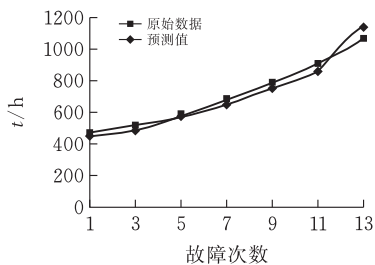


图 2 预测结果

故此,用户可依据这些信息对数控机床故障发生时间进行预测,并且提前做好维修准备。

4 结论

本文根据数控机床的实际故障数据,采用灰色预测理论建立了数控机床系统的故障预测模型,并对预测结果进行检验。结果表明:该系统故障预测准确,精度等级达 1 级。根据该预测模型得出的后续故障发生时间能为机床的预防性维修提供依据。

[参 考 文 献]

[1] 刘思峰,郭天榜,当耀国.灰色系统理论及其应用[M].北京:科学出版社,1999.

[2] Mize C D, Ziegert J C. Neural network thermal error compensation of a machining center[J]. Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology,2000,24(4):338-346.

[3] 杨建国,任永强,朱卫斌,等.数控机床热误差补偿模型在线修正方法研究[J].机械工程学报,2003,39(3):81-84.

[4] 李永祥,童恒超,曹洪涛,等.数控机床热误差的时序分析法建模及其应用[J].四川大学学报(工程科学版),2006,38(2):74-78.

[5] 林伟青,傅建中,陈子辰,等.数控机床热误差的动态自适应加权最小二乘支持矢量机建模方法[J].机械工程学报,2009,45(3):178-182.

[6] 陈保家,陈雪峰,何正嘉,等.利用运行状态信息的机床刀具可靠性预测方法[J].西安交通大学学报,2010,44(9):74-77.

[7] 杨建国,王智明,王国强,等.数控机床可靠性指标的似然比检验区间估计[J].机械工程学报,2012,48(2):9-15.

[8] 李南,卢晓红,韩鹏卓,等.数控机床及其关键功能部件可靠性研究综述[J].组合机床与自动化加工技术,2012(11):105-108.

[9] 邓聚龙.灰色系统理论教程[M].武汉:华中理工大学出版社,1991.

[10] 傅立.灰色系统理论及其应用[M].北京:科学文献出版社,1992.

[11] 袁嘉祖.灰色系统理论及其应用[M].北京:科学出版社,1991.

[12] 赵宏林,王燕生.机床减振垫铁结构及其特性研究[J].制造技术与机床,2004(12):105-108.

[13] 高连生,任增.数控系统故障分布规律的确定与选择[J].制造技术与机床,2016(8)100-103.

[14] 王义民.防振垫铁与卧式车床的稳定性[J].制造技术与机床,2003(6):30-32.

[15] 陈志浩.几种典型机床调整垫铁的接触刚度[J].设备管理与维修,1999(1):13-14.

Fault Prediction of the CNC Based on Grey System Theory

WANG Zang^{1,2}, LIU Guangya¹

(1 School of Electrical and Electronic Engin., Hubei Univ. of Tech.,Wuhan 430068,China ;

2 Hubei Water Resources Technical College , Wuhan 430070,China)

Abstract: In order to predict the fault rate of the CNC machine under the condition of small samples, this paper analyzes the failure of the CNC machine and its timing characteristics. The failure prediction model is established based on the grey prediction method in grey theory, to predict the failure time. The results show that the relative error of CNC machine fault prediction time is less than 1.62%, and the accuracy is up to 1. These findings are insightful for the preparation of the prevention of failure occurrence and maintenance.

Keywords: grey theory;GM(1,1) model;fault prediction of the CNC ; failure time

[责任编辑: 张 众]