

随机截尾数控机床故障过程

张英芝, 申桂香, 薛玉霞, 贾亚洲, 李 研

(吉林大学 机械科学与工程学院, 长春 130022)

摘要:首先应用故障总时间法对某型号数控机床在一年中的25个随机截尾故障数据进行预处理,然后采用图示和统计两种方法对故障数据进行趋势检验,最后通过参数估计和线性相关检验确定了数控机床故障过程符合威布尔过程。研究结果为数控机床的可靠性分析和评价提供了理论依据。

关键词:随机截尾;数控机床;故障过程;威布尔过程

中图分类号:TG659 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5497(2007)06-1346-03

Failure process for numerical control machine with random ending method

Zhang Ying-zhi, Shen Gui-xiang, Xue Yu-xia, Jia Ya-zhou, Li Yan

(College of Mechanical Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: The 25 failure data with random ending from a numerical control (NC) machine tool in one year were pre-processed with total failure time method, then the tendency test was performed for the failure data by the graphic method and the statistic method. It was found that the failure process of the NC machine tool conforms to Weibull process model by means of the parameter estimation and the linear relativity hypothesis test. A brief analysis was made to provide a theoretical basis for the reliability analysis and evaluation of the NC machine tools.

Key words: random ending; numerical control machine tool; failure process; Weibull process

确定数控机床故障过程模型是对其进行可靠性分析的重要前提,而故障过程模型的确定方法与可靠性试验数据密切相关。目前,数控机床采用现场抽样定时截尾的试验方法进行试验,虽然试验截止时间相同,但由于机床投入使用的不同,也导致数据出现随机截尾的特性。另外,数控机床的使用过程是在故障与维修交替作用下进行的,由于维修改变了机床系统的实际工作时间,随着使用时间的增加,数控机床故障间隔时间往往呈现变大或变小的趋势,导致故障数据不一定

独立同分布^[1,2]。同时由于数控机床可靠性水平的不断提高,其故障数据将大量减少,导致故障过程分析更加困难。针对目前数控机床可靠性数据的特点,作者首先应用故障总时间法进行故障数据预处理,然后采用图示和统计两种方法对故障数据进行趋势检验,最后通过参数估计与线性相关检验确定数控机床故障过程模型。该算法与样本大小无关,且易于理解,计算简便,具有一定的应用价值。

收稿日期:2006-08-29.

基金项目:“863”国家高技术研究发展计划项目(2004AA424512);吉林省科技发展计划项目(20050535).

作者简介:张英芝(1970-),女,副教授,博士.研究方向:数控机床可靠性增长技术. E-mail:zyzycx@sohu.com

通讯联系人:申桂香(1957-),女,教授,博士生导师.研究方向:面向生命周期的数控装备可信性技术.

E-mail:shengx@jlu.edu.cn

1 故障数据预处理

以 8 台某型号数控机床一年内的 25 个随机截尾故障数据为例进行研究。由于故障总数不大,故采用故障总时间法对故障数据进行分析。图 1 为故障总时间法的基本原理。

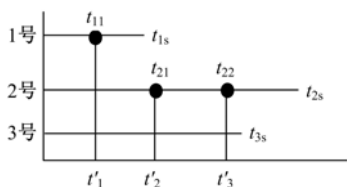


图 1 故障总时间的计算方法

Fig. 1 Calculation method of total failure time

以 3 台数控机床进行的可靠性试验为例,图 1 中 t_{is} ($i=1,2,3$) 为第 i 号机床中止试验时间,“•”表示故障点。各故障点的故障总时间的计算方法为:

$$\begin{cases} t'_1 = 3t_{11} \\ t'_2 = 3t_{21} \\ t'_3 = 2t_{22} + t_{1s} \end{cases} \quad (1)$$

在不考虑故障数据属于哪台机床的情况下,按照图 1 所示方法可以得到发生故障时所有试验机床运行的总时间 t'_i ,进而计算出受试机床平均发生故障的时间 t_i 和累计平均故障总数 $N(t_i)$

$$t_i = t'_i/n \quad (2)$$

$$N(t_i) = i/n \quad (3)$$

式中: n 为参加试验的机床总台数。

2 故障数据趋势检验

2.1 图示法

表 1 为 8 台某型号数控机床一年内的 25 个随机截尾故障数据。将表 1 数据按照图 1 所示的故障总时间法计算出 t_i 和 $N(t_i)$ 。其散点图如图

表 1 数控机床的故障数据

Table 1 Failure data of NC machine tools

编号	故障发生时间/h	中止时间/h
1	1027.26,1620.5,2130.55,2419.73	2500
2	723.56,1567.67,1813.56	1900
3	210.96,906.71,1696.56	1900
4	1052.6,1143.83,1182.46,1587.46	1900
5	599.04,631.09,1098.49	1500
6	1270.41,1289.59,1433.89,2495.02	2500
7	1290.41,1485.44	1500
8	881.64,1196.98	1500

2 所示。由于图形略凹,故故障数据可能具有单调趋势。

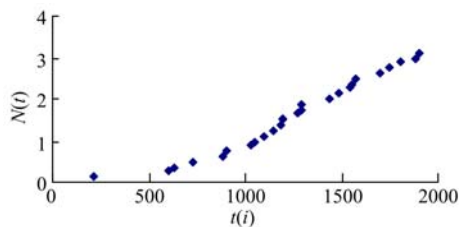


图 2 数控机床的 $(t, N(t))$ 图

Fig. 2 $(t, N(t))$ figure of NC machine tools

2.2 统计法^[2]

(1)U 检验法(Laplace 检验)

零假设 H_0 : HPP(齐次泊松过程);备择假设:具有单调趋势。

检验统计量为

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n T_i - n\hat{T}/2}{\hat{T}\sqrt{n/12}} \quad (4)$$

将表 1 数据按式(1)可得各故障点的 t'_i ,中止试验时间 $\hat{T}=15\ 200$ h。并带入式(4)中得趋势检验统计量 $\mu=2.691\ 311$ 。

取 $\alpha=0.05$ 时,查趋势检验表得趋势检验统计量临界值为 $\mu_{1-\alpha/2}=1.960$ 。

因为 $\mu>1.960$,所以接收 H_1 ,拒绝 H_0 ,即认为故障数据具有单调趋势。

(2)J 检验法

零假设 H_0 : RP(更新过程);备择假设: H_1 具有单调趋势。

将由表 1 数据按照公式(1)得到的各故障点的 t'_i ,按公式 $X_i = T_i - T_{i-1}$ ($i=1,2,\dots$) (约定 $T_0=0$) 可以计算 8 台数控机床的故障间隔时间 X_i 。进而可以计算出均值 $\bar{X}=607.6016$ 和标准差 $s=665.9949$ 。

统计量 $J = \frac{\sum_{i=1}^n T_i - n\hat{T}/2}{s[n(n+1)(n+2)/12]^{1/2}}$,取显著性

水平 $\alpha=0.05$ 时, $t_{\alpha/2}(n) = t_{0.025}(25) = 2.31$,因为 J 统计量大于检验值,故接受 H_1 ,拒绝 H_0 ,认为故障数据具有单调趋势。

综上,由图示法和统计法检验结果可以认为,数控机床故障数据具有单调趋势,故假设数据分布符合威布尔过程(NHPP)模型。

3 故障强度函数拟合及相关性检验

3.1 故障强度函数的拟合

以表 1 数控机床故障数据为样本,以非齐次泊松过程即威布尔故障过程为理论模型进行故障强度函数的拟合。

威布尔故障过程故障强度函数为

$$h(t) = \lambda\beta t^{\beta-1} \tag{5}$$

则累计故障数函数为

$$N(t) = \int_0^t h(t) dt = \lambda t^\beta \tag{6}$$

对上式两边同时取对数得

$$\ln N(t) = \ln \lambda + \beta \ln t$$

若令 $y = \ln N(t)$, $x = \ln t$, $A = \ln \lambda$; 则上式变为

$$y = A + \beta x \tag{7}$$

采用线性回归方法可得形状参数 $\hat{\beta} = 0.947\ 906$,

强度参数 $\hat{\lambda} = \exp(A) = 0.012\ 437$, 所以

$$N(t) = 0.012\ 437 t^{0.947\ 906}$$

$$h(t) = \hat{\lambda} \hat{\beta} t^{\hat{\beta}-1} = 0.011\ 789 t^{-0.052\ 094}$$

3.2 故障强度函数的相关性检验

采用线性相关系数法进行检验。相关系数为

$$\hat{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2)(\sum_{i=1}^n y_i^2 - n \bar{y}^2)}} \tag{8}$$

当 $|\hat{\rho}| > \rho_\alpha$ 时,则认为 x 与 y 之间是线性相关的。其中 ρ_α 是相关系数起码值,当显著性水平 $\alpha = 0.01$, $n = 25$ 时, $\rho_\alpha = 0.4869$ 。

按式(8)计算出的 $\rho = 0.964$ 。因为 $|\hat{\rho}| > \rho_\alpha$,故认为数控机床故障数据符合威布尔过程模型,因此故障强度函数为

$$h(t) = \lambda\beta t^{\beta-1} = 0.011\ 789 t^{-0.052\ 094} \tag{9}$$

4 数控机床故障过程分析

故障强度表示数控机床单位时间内发生故障的次数,其倒数则表示机床一次故障所经过的时间,故可以定义故障强度的倒数为瞬时平均故障间隔时间^[3~5],记为 t_{IMBF} ,即

$$t_{\text{IMBF}} = \frac{1}{h(t)} \tag{10}$$

由式(10)知, t 分别等于 1000、2000、3000 时,数控机床瞬时平均故障间隔时间分别为 121.564 h、126.0338 h、128.7242 h,因为故障时间间隔具

有逐渐增加的趋势,故故障过程是改善的。

5 结 论

(1)数控机床的故障过程符合威布尔过程模型,因为形状参数小于 1,可认为数控机床处于早期故障期。

(2)在使用初期,由于数控机床自身的某些缺陷,如制造工艺、装配调整不当等导致其发生故障的机会比较多,故障率较高,但随着使用时间的延长,其故障强度在不断减小。

(3)数控机床瞬时平均故障间隔时间均小于 200 h,说明该产品无论是在设计、制造,还是使用、维修方面都有待于改进和提高。

参考文献:

[1] 孙进康, 酆正能. 可修复系统故障数据分析模型与方法研究[J]. 解放军理工大学学报, 2000, 1(2): 57-61.
Sun Jin-kang, Li Zheng-neng. Method and models of reliability analysis for repairable systems based on the failure data[J]. Journals of PLA University of Science and Technology, 2000, 1(2): 57-61.

[2] Vaurio J K. Identification of process and distribution characteristics by testing monotonic and non-monotonic trends in failure intensities and hazard rates [J]. Reliability Engineering and System Safety, 1999, 64: 345-357.

[3] 王金武, 衣淑娟, 张兆国. 履带拖拉机可靠性分析中故障规律的研究[J]. 农业工程学报, 2001, 32(2): 104-106.
Wang Jin-wu, Yi Shu-juan, Zhang Zhao-guo. Trouble rules of reliability analysis of caterpillar tractor [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001, 32(2): 104-106.

[4] 高亚明, 孙进康, 周军. 可修机械系统故障数据检验方法研究[J]. 机械, 2002, 29(1): 71-73.
Gao Ya-ming, Sun Jin-kang, Zhou Jun. Study on statistical test of failure data for repairable mechanical systems[J]. Machinery, 2002, 29(1): 71-73.

[5] 王金武, 刘家福, 许仲祥. 履带式拖拉机可靠性与维修性的分析[J]. 农业机械学报, 2004, 35(4): 81-83.
Wang Jin-wu, Liu Jia-fu, Xu Zhong-xiang. Statistical analysis study on reliability and maintainability of caterpillar tractor [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(4): 81-83.