

# The Management of Automatic Lathe

YU Jie, JIANG Aimin, LI Rong-bing

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

**Abstract** Optimal maintenance policy problem in a system is discussed and analysed in this paper. Due to the random variable concerned, one objective mathematical model of expectation value is developed. By using enumerative search method, we obtain optimal policy. The process is checked once every producing 18 parts. When the process is checked 20 times, the knife has to be changed. According to this policy, the average minimal cost for producing a part is 4.62¥.

Finally, we point out some factors not to be considered in the model, and analyse the influence of these factors. Moreover, some modification is proposed.

## 车 床 管 理 优 化 模 型

张继伟, 韩方华, 顾利龙

指导教师: 夏亚峰

(甘肃工业大学, 兰州 730050)

**编者按:** 本文的特色在于利用管理成本理论, 得到了由四个部分组成的单位工件成本的表达式, 及最优检查周期所满足的方程, 作者特别细致地注意到由检查滞后而引起的成本部分, 继而在定期更换刀具及考虑到其他非刀具因素故障情况下对成本公式作了修正, 并用搜索法求得了最优解。

**摘要:** 本文讨论了自动化车床连续加工零件工序定期检查和刀具更换的最优策略。

针对问题一, 应用管理成本理论结合概率统计方法, 建立定期检查调节零件的平均管理成本的优化设计模型, 通过计算机求解、模拟, 得到工序设计效益最好的检查间隔和刀具更换间隔。针对问题二, 在问题一的基础上, 利用概率知识调整了检查间隔中的不合格品数带来的平均损失, 同时加上了因工序正常而误认为有故障停机产生的平均损失, 然后建立起目标函数, 得到工序设计效益最好的检查间隔和刀具更换策略。对于工序故障采用自动检查装置, 设计出了自动检查调节系统, 并给出了算法框图, 有效地避免工序正常而误认为有故障停机损失, 提高工序效益。

### 1 问题的重述(略)

### 2 模型的假设

1. 工序出现故障是完全随机的, 生产任一零件时出现故障的机会相同;
2. 累积的 100 次刀具故障记录中每一个记录是刀具完成的零件数, 其中有一个不合格

品(即滞后数);

3. 有完全充足的刀具可供更换;

4. 故障时产生的零件损失费理解为每产生不合格品就损失的费用;

5. 对一个零件进行检查的过程中, 生产并不停止 从生产开始到检查结束, 有 1 个零件生产出来

### 3 参数的说明

$f$  ——故障时产出的每件零件损失费用,  $f = 200$  元/件;

$t$  ——每次进行检查的费用,  $t = 10$  元/次;

$d$  ——发现故障进行调节使恢复正常的平均费用,  $d = 3000$  元/次;

$k$  ——未发现故障时更换一把新刀具的费用,  $k = 1000$  元/次;

$L$  ——定间隔检查调节单位零件平均管理成本;

$n$  ——检查间隔(生产多少个零件检查一次);

$\bar{u}$  ——平均故障间隔(每两次故障之间平均生产的零件数);

$\bar{u}^*$  ——采用定期更换后的平均故障间隔;

$\bar{u}$  ——平均更换刀具间隔;

$\bar{u}_{\text{定}}$  ——考虑其它原因后定期更换刀具时的平均故障间隔;

$\bar{u}_{\text{其它}}$  ——由其它原因产生的平均故障间隔;

$l$  ——检查滞后数, 即检查过程中工序所生产出的零件数;

$p$  ——刀具寿命低于平均故障间隔中的零件数的比率;

$p_1$  ——除刀具损坏外其它原因的故障率

### 4 问题分析

工序制造出的零件, 总能以某种单位进行计量, 要保持工序的正常状态, 就要经常对工序进行检查, 所谓对工序进行检查是通过检查零件来施行的 检查过于频繁, 自然能使工序经常处于正常状态而少出不合格品, 然而, 这将使诊断费用过高; 诊断间隔过长, 虽然可以减少诊断费用, 但由于不能及时调节工序而可能导致大量不合格品出现, 这也必将提高单位零件的平均管理成本, 从而所求问题就转化为当检查间隔为多少时其平均管理成本最低

### 5 模型的建立

对 100 个数据进行统计分析, 利用  $\chi^2$  检验得出这些数据符合正态分布  $N(600, 195.6^2)$ .

#### 5.1 问题 1

单位零件的平均管理成本  $L$  由下列四部分组成:

I = 单个零件的平均检查费;

II = 单个零件的平均调节费;

III = 由检查滞后所产生的不合格带来的平均损失;

IV = 由检查间隔中的不合格品带来的平均损失

因  $n$  个零件检查一次, 所以每个零件所分推到的检查费用为  $t/n$ , 即:

$$I = t/n$$

由于检查到故障时才进行调节, 而平均每  $\bar{u}$  个零件出一次故障, 因此, 每个零件所分推到的调节费是, 即:

$$II = d/\bar{u}$$

至于 III, 由于检查时生产并不停止, 而检查又需一定时间 假设检查一个零件的同时, 已又有  $l$  个零件生产出来 因此, 每一次故障由于检查滞后造成损失为  $l \cdot f$ , 于是每个零件所分推到的检查滞后损失为  $l \cdot f / \bar{u}$ , 即:

$$III = l \cdot f / \bar{u}$$

最后来分析 IV, 注意每  $n$  个零件才检查一次, 在某检查点一但发现零件为不合格品, 一般说来, 不合格品就不只这一个, 详细情况见下图:

	前一检查点				某一检查点			
(1)	0	0	0	...	0	0	0	$x$
(2)	0	0	0	...	0	0	$x$	$x$
(3)	0	0	0	...	0	$x$	$x$	$x$
.					.			
.					.			
.					.			
( $n-1$ )	0	$x$	$x$	...	$x$	$x$	$x$	
( $n$ )	$x$	$x$	$x$	...	$x$	$x$	$x$	$x$

注 1 “0”代表零件是合格品; 2 “ $x$ ”代表不合格品

对于 (1) 情况, 恰在某一检查点工序不正常, 而前面是正常的 因此, 恰有一个不合格品; (2) 情况是在某检查点的前一个零件, 工序开始不正常 因此有两个不合格品, ... ( $n$ ) 情况是, 在前一个检查点后, 工序就不正常了, 因此, 有  $n$  个不合格品 所以, 平均来说, 在某个检查点发现零件不合格时, 在检查间隔中平均有  $\frac{1+2+\dots+n}{n} = \frac{n+1}{2}$  个不合格品 由此带来的损失为  $\frac{n+1}{2}f$ , 平均每  $\bar{u}$  个零件出一次故障, 因此每个零件所分推到的该项损失是  $\frac{n+1}{2} \cdot \frac{f}{\bar{u}}$ , 即:

$$IV = \frac{n+1}{2} \cdot \frac{f}{\bar{u}}$$

综上, 可得出定间隔检查调节单位零件的平均管理成本的基本公式

$$L = \frac{t}{n} + \frac{d}{\bar{u}} + \frac{l \cdot f}{\bar{u}} + \frac{n+1}{2} \cdot \frac{f}{\bar{u}} \quad (1)$$

最好的检查间隔, 即使  $L$  达到最小的  $n$ , 两边对  $n$  求得:

$$L = - \frac{t}{n^2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{f}{\bar{u}}$$

$$n = \sqrt{\frac{2t \cdot \bar{u}}{f}} \quad (2)$$

令  $L = 0$ , 解得:

如果再考虑对发现故障进行调节等一些细节, 可得最宜检查间隔  $n$  的修正公式为:

$$n = \sqrt{\frac{2(1 + \bar{u})t}{f - d/\bar{u}}} \quad (3)$$

由于检查滞后生产  $l$  个不合格品, 可取  $l = 1$  即生产出一件不合格品就确定工序不正常

由公式(1)可知要降低管理费用, 可让平均故障间隔增大, 定期更换刀具的办法可使平均故障间隔增大, 不过由于进行定期更换刀具, 刀具费也将会增加, 这样管理费用就会增大, 因此采用该办法是否合算的问题, 要通过计算来加以验证

由于工序故障绝大部分来自刀具损坏, 具体来讲:

(1) 其它原因的故障率  $p_1 = 0.05$ ;

(2) 记刀具发生故障时平均加工的零件数低于  $\bar{u}$  件的比率为  $p$ 。

引入定期更换后的平均故障间隔系数  $\bar{u}^*$ , 那么:

$$L^* = \frac{k}{\bar{u}} + \left[ \frac{t}{n} + \frac{d}{\bar{u}^*} + \frac{l \cdot f}{\bar{u}^*} + \frac{\bar{u} + 1}{2} \cdot \frac{f}{\bar{u}^*} \right] \quad (4)$$

对于  $\bar{u}^*$ , 可作如下估算:

$$\bar{u}^* = \frac{\text{产品数}}{\text{故障数}} = \frac{a \times \bar{u}}{a \times p} = \frac{\bar{u}}{p}$$

另外, 工序故障可能由其它原因引起虽它仅占 5%, 但也要考虑进去, 则定期更换刀具平均故障间隔  $\bar{u}_{\text{其它}}$  可由下式给出:

$$\bar{u}_{\text{其它}} = \frac{\text{产品数}}{\text{其它故障数}} = \frac{\text{产品数}}{\text{总故障数}} \times \frac{\text{总故障数}}{\text{其它故障数}} = \bar{u} \cdot \frac{1}{p}$$

定期更换刀具时平均故障间隔  $\bar{u}_{\text{定}}$ , 取  $\bar{u}^*$ ,  $\bar{u}_{\text{其它}}$  的调和平均:

$$\bar{u}_{\text{定}} = \frac{1}{\frac{1}{\bar{u}^*} + \frac{1}{\bar{u}_{\text{其它}}}}$$

问题 1 的模型为:

$$M \text{ in: } L_{\text{定}} = \frac{k}{\bar{u}} + \left[ \frac{t}{n} + \frac{d}{\bar{u}_{\text{定}}} + \frac{l \cdot f}{\bar{u}_{\text{定}}} + \frac{\bar{u} + 1}{2} \cdot \frac{f}{\bar{u}_{\text{定}}} \right] \quad (5)$$

令  $L_{\text{定}} = 0$  得最宜检查间隔为:

$$n = \sqrt{\frac{2 \cdot \bar{u}_{\text{定}} \cdot t}{f}} \quad (6)$$

修正公式为:

$$n = \sqrt{\frac{2(\bar{u}_{\text{定}} + 1)t}{f - d/\bar{u}_{\text{定}}}} \quad (7)$$

对该模型的求解可通过计算机编程进行一维搜索实现, 其结果为: 最宜检查间隔  $n = 15$  (件), 最佳换刀间隔  $\bar{u} = 365$  (件), 最小单位零件的平均管理成本  $L = 4.65$  (元)。

## 5.2 问题 2 (略)

## 5.3 问题 3

设计安装工序自动检查调节装置, 对每个零件进行检查, 假设检查费为零。下面给出的自动检查调节系统可以有效避免问题 2 中正常工序而误认为故障停机产生的损失, 从而降

### 低单位零件的平均管理成本

设  $n$  为自动检查调节装置统计的件数, 本系统按顺序检查  $n$  个零件出现的不合格品数  $m$ , 建立动态检查模式, 自动记录按顺序检查的  $n$  和  $n$  个零件中出现的不合格品数  $m$ , 并且自动记录工序正常时所检查的零件数  $k$ , 有以下四种情况:

1. 顺序统计的  $n$  个零件, 次品率低于 2%, 认为工序正常, 继续生产;
2. 顺序统计的  $n$  个零件, 次品率高于 2% 低于 60%, 但所有已检查零件的次品率低于 2%, 认为工序正常, 继续生产;
3. 顺序统计的  $n$  个零件, 次品率高于 60%, 但所有已检查零件的次品率低于 2%, 认为工序正常, 继续生产;
4. 顺序统计的  $n$  个零件次品率高于 60%, 并且所有检查零件的次品率高于 2%, 认为工序故障, 系统自动发出信号并进行调节。(算法框图略)

## 6 模型的优缺点

优点:

- (1) 本文建模思想易于理解, 模型可操作性强, 有广泛的应用价值
- (2) 所建两个模型的平均管理成本目标函数呈下凸曲线形态, 由计算机求解极小值, 所得结果稳定性强, 而且得到的解与实际情况相吻合, 能用一般的常识解释
- (3) 本文用到的数学方法(一般的概率统计知识和一元函数求极值)都比较简单
- (4) 由对已往数据通过概率统计建立的模型, 得出的结论对以后工序长期生产有指导价值

缺点:

- (1) 没有考虑到刀具寿命对零件的影响, 降低了模型的实用性;
- (2) 零件生产过程的连续性有所欠缺, 在模型的改进上扩展性不是太强

参考文献:

- [1] 沈恒范. 概率论与数理统计教程(第三版). 高等教育出版社, 北京, 1995
- [2] 现代质量管理统计方法编写组. 现代质量管理统计方法. 期刊出版社, 北京, 1988
- [3] 姜启源. 数学模型. 高等教育出版社, 北京, 1998
- [4] 谭浩强. C 程序设计. 清华大学出版社, 北京, 1998
- [5] 吕松棠等. C 语言科学与工程程序库. 电子工业出版社, 北京, 1992

## The Optimum Model of Late Management

ZHANG Jiwei, HAN Fang-hua, GU Li-long

(Gansu University of Technology, Lanzou 730050)

**Abstract** In the article, the optimum tactics of the regular check to working procedures and the replacement of cutting tools in the course of continuous component processing by automatic lathes has been discussed

For question one, the optimum model of average management cost used for regular check and adjustment of component has been made out by applying the theory of management cost and method of probability statistics, the best designed interval of check and cutting tools replacement in the working procedure has been obtained

For question two, based on question one, the objective functions has been established, and the optimum tactics of the best designed interval of check and the replacement of cutting tools has been obtained considering the average loss brought about by unqualified products at the interval of check and the average loss of machine stop for being misregarded as existing breakdown

The automatic checking and adjusting system the breakdown of working procedures has been designed by using automatic devices, and the algorithm flow chart has been given too Thus the loss of machine stop for being misregarded as existing breakdown would be avoided, and the benefit of working procedure would be increased

## 自动化车床管理

石 敏, 林超友, 方 斌

指导教师: 数模组

(海军工程大学, 武汉 430033)

**编者按:** 该文思路正确, 考虑较全面, 对问题一给出了正确的模型和结果, 并对检查方式、灵敏度分析、误差分析进行了详细讨论 本文另一特色是进行了计算机模拟, 这对许多类似的问题都行之有效 本文缺点是对问题二的模型有欠缺

**摘要:** 本文对自动化车床管理问题进行了讨论, 将检查间隔和刀具更换策略的确定归结为单个零件期望损失最小的一个优化问题, 并提供了有效算法 对问题一, 得到检查间隔  $\tau_0 = 18$ , 定期换刀间隔  $\tau_1 = 342$ , 相应的单个零件期望损失费用  $C = 4.75$  元的最优解, 并用蒙特卡罗法对结果进行了模拟检验 对问题二, 得到检查间隔  $\tau_0 = 11$ , 定期换刀间隔  $\tau_1 = 242$ , 单个零件期望损失费用  $C = 7.22$  元 对问题三, 我们采用新的改进方案使单个零件期望损失费用降为 5.34 元 本文还对变检查间隔、参数灵敏性、误差分析等进行了讨论

### 1 问题的重述(略)

### 2 问题的分析

由于刀具损坏等原因会使工序出现故障, 工序出现故障是完全随机的 工作人员通过检查零件来确定工序是否出现故障, 并且计划在刀具加工一定件数的零件后定期更新刀具

因此, 给定检查间隔, 对零件作检查, 当发现零件不合格时则认为工序发生了故障并立即进行停机检查, 若实际存在故障则进行修理, 无故障则继续生产; 当检查发现零件合格则不干涉设备的工作 当到了定期更换刀具时刻, 即使设备未出现故障, 也进行刀具更新