# 基于产品可靠性的工艺系统可靠性模型

付桂翠 上官云 史兴宽 梁培东

(北京航空航天大学 工程系统工程系, 北京 100191) (中国航天科工集团 二院二十三所, 北京 100054)

**摘 要**: 以提高产品的可靠性为目的, 分析了工艺系统、工艺过程产品输出参数、产品使用性能、产品可靠性四者的关系. 在此基础上, 提出了基于产品可靠性的工艺系统基本影响关系可靠性模型, 介绍了其建模方法. 模型考虑了各工序之间的影响, 反映了工艺系统与产品可靠性的关系. 最终研究了工艺系统可靠度和工序可靠度的定量计算方法, 为找出工艺系统的薄弱环节, 进行工艺优化进而提高产品的可靠性提供了理论依据.

**关 键 词**: 工艺系统; 可靠性; 建模

中图分类号: V 46

文献标识码: A 文章编号: 1001-5965(2009)01-0009-04

## Processing system reliability model based on products reliability

Fu Guicui Shangguan Yun

(Dept. of System Engineering of Engineering Technology, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Shi Xingkuan Liang Peidong

(No. 23 institute, the Second Academy, China Aerospace Science & Industry Corp., Beijing 100054, China)

**Abstract** In order to improve the product reliability, the relationships of processing system, process product deferent parameters, product performance and product reliability were analyzed. Then a reliability model named "reliability model of basic influence relationship in processing system" based on product reliability was presented, and the modeling method was introduced. The model considered the interaction of each working procedure, and represented the relationships between processing system and product reliability. Finally, quantitative calculation method of reliability degree of processing system and working procedure were discussed which has provided theoretical basis for locating processing system's weak parts, making processing optimization and product reliability advancement.

**Key words**: processing system; reliability; modeling

相同设计规范的产品在不同的工艺系统中生产制造, 其固有可靠性也会有较大的差异, 因此产品的可靠性是由工艺系统可靠性和设计可靠性共同保证的. 而有效的工艺系统可靠性模型是工艺系统可靠性分析和评价的依据. 文献[1]采用可靠性框图法建立工艺系统的可靠性模型, 并提出工艺系统平均故障间隔时间、工艺系统可用度等指标的计算方法, 文献[2-3]建立 Petri网模型描述工艺系统的同步、资源共享、冲突等现象, 文献[4]针对连续型工艺系统建立 Markov 链模型, 分析其任务成功性, 文献[5]采用故障树分析法(FTA, Fault Tree Analysis)按分系统、设备等故障对工艺系统从果到因逐层展开进行建模分析. 但这些模型只分析了工艺系统本身稳定运行的能力, 没有考虑工艺系统与加工出的产品的可靠性之间的关系, 无法从对工艺系统的可靠性研究中提高产品的可靠性.

本文提出一种能够反映工艺系统和产品可靠性关系的模型——基本影响关系可靠性模型, 并基于这种模型提出工艺系统可靠度及工序可靠度的计算方法, 为改进工艺, 进一步提高产品可靠性提供理论依据.

收稿日期: 2008-01-16

作者简介: 付桂翠(1968-), 女, 辽宁抚顺人, 副教授, fuguicui@buaa.edu.cn.

# 1 工艺系统与产品可靠性

## 1.1 工艺系统的组成

工艺系统是在规定条件下执行给定工艺过程或工序, 在功能上是相互联系的人、机、料、法、环、管理等的总和. 工艺系统是由若干个工序系统组成的, 工序指的是一个或一组工人在一个工作地对同一个或同时几个制件所连续完成的一部分工艺过程.

## 1.2 工艺系统的输出参数

工艺系统的输出参数指的是加工出的产品的输出参数, 即产品的质量指标. 包括产品外形尺寸、表面质量、机械性能、电性能等. 产品的输出参数是在制造过程中对毛坯和半成品连续加工的结果, 每一道工序有每一加工阶段应予保证的工序输出参数.

## 1.3 工艺系统对产品可靠性的影响

产品可靠性是指产品在使用过程中随着时间的变化保持自身工作能力的性能, 因此, 产品的可靠性取决于产品的使用性能, 如耐磨性、疲劳强度、抗腐蚀性等. 而工艺系统输出参数, 如尺寸、表面质量等, 又决定了产品的使用性能[6]. 产品可靠性指标同工艺系统的关系可用图 1表示.

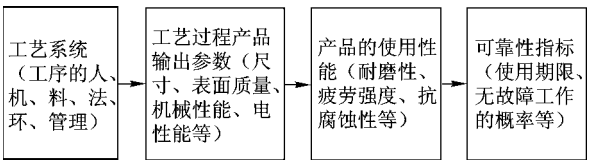


图 1 产品可靠性指标同工艺系统的关系

# 2 基本影响关系可靠性模型的建立

## 2.1 建模思路

要建立工艺系统与产品可靠性的影响关系模型, 首先要确定工艺系统对产品可靠性的影响, 找出工艺系统与产品可靠性之间的关系. 而工艺系统对产品可靠性指标直接的影响关系很难确定. 因此建模的思路是通过研究工艺系统各组成部分同工艺系统输出参数的关系, 找到对产品使用性能起决定作用的工艺系统输出参数, 分析工艺系统各工序对这些输出参数的影响, 建立工艺系统与输出参数的关系模型, 以便通过对各参数进行检验找出工艺系统的薄弱环节, 改进工艺, 以达到提高产品可靠性的目的.

对于不同的产品, 影响其使用性能的输出参数以及决定这些参数的工序是不同的, 某型产品的情况如图 2所示.

## 2.2 模型描述

基本影响关系模型示意图如图 3所示, 为了保证合格率高的质量水平, 每道工序都设置了检验, 制造过程终结后, 还设置了总检验收. 图中连接线表示了系统中各工序之间或各工序对工艺过程输出参数的影响. 该模型既考虑了工艺系统内部各工序之间的影响关系, 又能直观地反映工艺系统对最终产品质量的影响.

## 2.3 建模步骤

1) 分析影响产品可靠性 (或使用性能 )的工艺过程输出参数.

2) 根据设计图纸及工艺方案, 建立工艺流程图.

3) 根据工艺流程图, 把流程中每一个工序系统作为一个基本单元, 建立工艺系统可靠性框图.

4) 对每一个基本单元 (工序 )进行定性和定量 (主要进行工艺方法和工艺技术 )分析, 确定是否影响上述的工艺过程输出参数, 并确定工序之间的影响关系.

5) 根据已建立的可靠性框图和框图中每个基本单元分析结果, 建立最终产品可靠性与工艺系统的基本影响关系可靠性模型.

6) 计算一些可靠性指标, 如: 工艺系统可靠度、工序可靠度等.

## 2.4 案例应用

基于文中提出的工艺系统可靠性建模方法, 以某型产品的制造工艺系统为例, 建立它的基本影响关系可靠性模型. 建模过程如下:

1) 影响产品可靠性的工艺系统输出参数的确定. 对某型产品可靠性有影响的输出参数主要有外形尺寸、形位公差、表面粗糙度、显微组织、残余应力、配合接触面积、装配连接强度等, 这些参数由机加工、胶接、镀膜、装配等工序决定.

2) 工艺流程图. 某型产品工艺系统由机械加工工艺系统、胶接工艺系统、表面镀膜工艺系统、装配工艺系统和测试工艺系统组成, 工艺流程如图 4所示.

3) 模型的建立. 通过研究某型产品工艺系统中各工序之间以及各工序对最终产品的影响, 建立的工艺系统基本影响关系可靠性模型如图 5所示, 产品中零件 1、零件 2、零件 3的机加工工序影响产品胶接工序, 而胶接、镀膜、装配等工序直接影响工艺系统的输出参数. 在每一道工序的结尾处都设置输出检验.

4) 工艺系统可靠度的计算. 仍以某型产品工艺系统为例, 分析其工艺系统的可靠度计算方法.

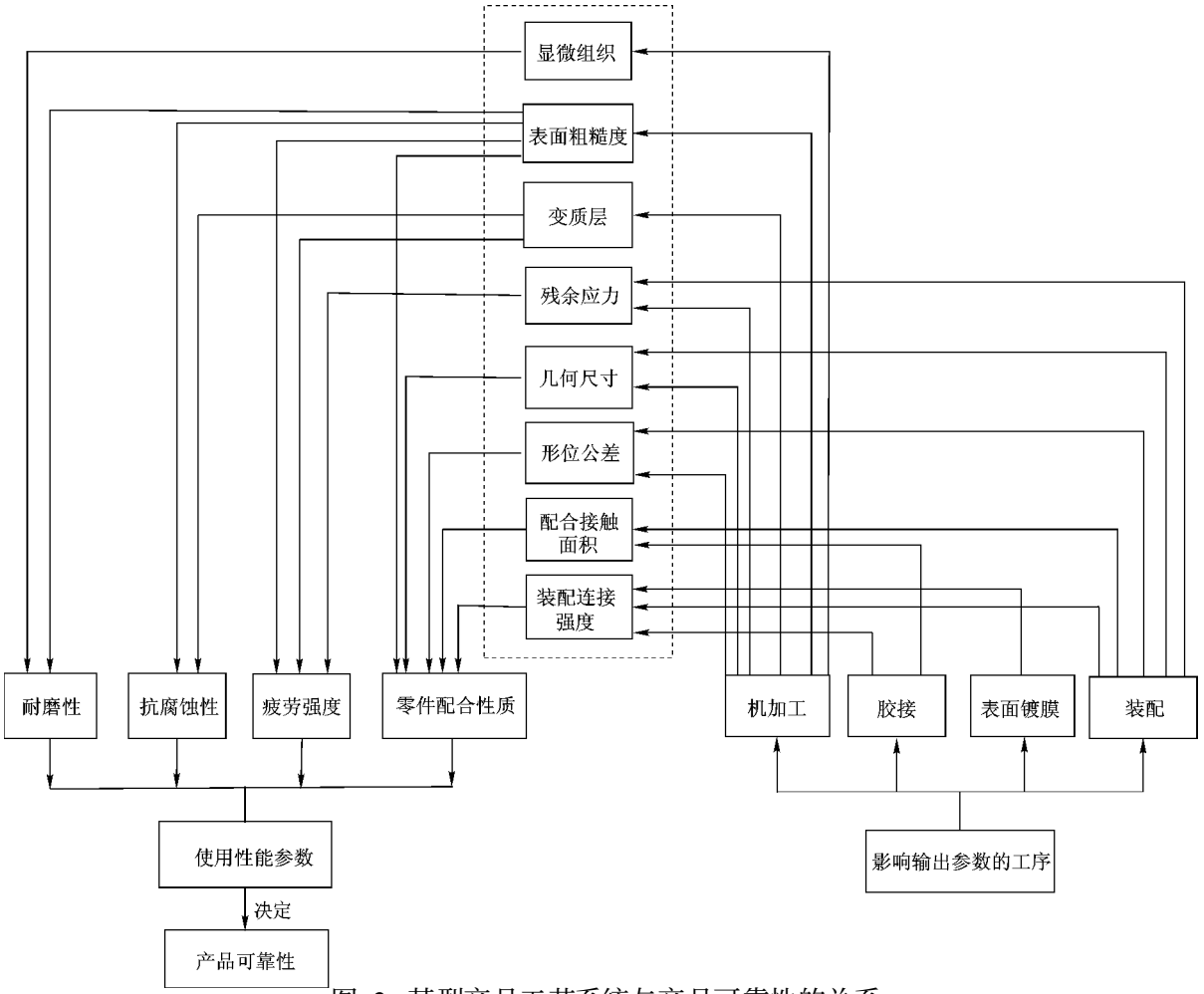


图 2　某型产品工艺系统与产品可靠性的关系

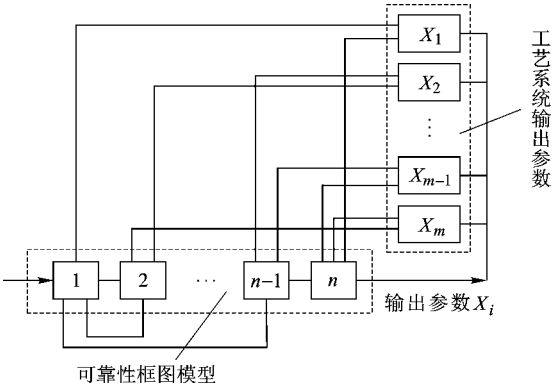


图 3　基本影响关系示意图

其输出参数有 8个, 设每个输出参数 $X_i$ 符合技术条件规定范围的概率为 $P_{X_i}$, 则其故障概率为 $(1-P_{X_i})$. 由于系统输出参数指标均经过检验测试, 假设无错判概率为 $P_J$, 则每一参数的故障概率为[7]

$$P_i = (1-P_{X_i})(1-P_J) \quad (1)$$

所以, 该系统的可靠度为

$$P(t) = \prod_{i=1}^{8}[1-(1-P_{X_i})(1-P_J)] \quad (2)$$

对于各子工序的可靠性也决定于该工序输出参数在技术规范允许范围内的概率. 因此, 对于有 $n'$个输出参数, 参数指标检验无错判概率为 $P_{Jj}$的工序, 其可靠度与式 (2)有类似的形式, 即

$$P_j(t) = \prod_{r=1}^{n'}[1-(1-P_{Z_r})(1-P_{Jj})] \quad (3)$$

式中, $P_j(t)$为第 $j$道工序的可靠度; $P_{Z_r}$为工序中第 $r$个输出参数 $Z_r$在合格范围内的概率; $P_{Jj}$为第 $j$道工序的误判概率.

对于前 3道工序系统, 它们不直接影响最终产品的输出参数, 而是对胶接工序系统有影响, 但是每道工序也都设置了检验, 检验每道工序加工出的零件的合格率, 这样也可以分别计算出每道工序系统的可靠度 $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$, 则胶接系统的可靠度则等于由式 (3)计算出的可靠度 $P_4(t)$除以 $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$, 即

$$P'_4(t) = \frac{P_4(t)}{P_1(t)P_2(t)P_3(t)} \quad (4)$$

计算工艺可靠度和工序可靠度的目的是找到工艺系统的薄弱环节, 也就是可靠度较低的工序系统, 通过控制和改进这些薄弱环节, 提高工艺系统的可靠度, 最终达到提高产品可靠性的目的.

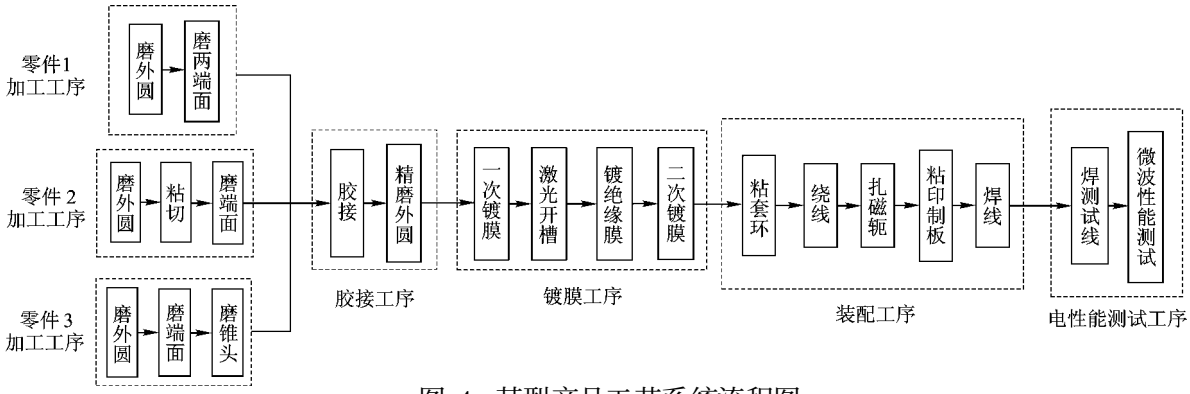


图 4 某型产品工艺系统流程图

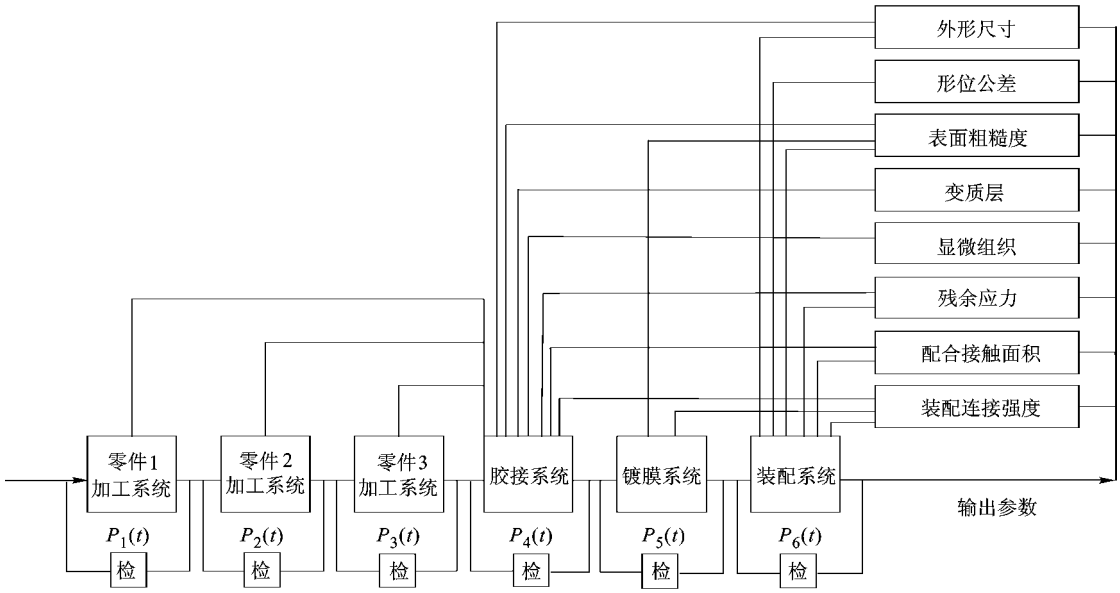


图 5 某型产品基本影响关系可靠性模型

## 3 结束语

本文突破已有的工艺系统可靠性建模方法的局限,从提高产品可靠性的角度出发,提出了工艺系统的基本影响关系可靠性模型,这种模型不仅反映了工艺系统与最终产品可靠性的关系,而且考虑了各工序之间的影响.最后,以某型产品工艺系统为例,建立其基本影响关系可靠性模型,并给出了工艺系统可靠度及工序可靠度的计算方法,对于找到工艺系统的关键工序和薄弱环节,从而改进和优化工艺以达到提高产品可靠性的目的有着实质性的作用.

## 参考文献 (**References**)

[1] Brall A, Gardner L. Availability modeling for the application of manufacturing equipment[C]//Proceedings Annual Reliability Maintainability Symposium. [S l]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2002: 411-416

[2] Jiang Zhibin, He Junming. Stochastic object-oriented petri nets (SPONS) and its application in modeling of manufacturing system reliability[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering (English Edition), 2003, 16(3): 272-276

[3] Huang Dan, Yang Juanwei, Qiao Feiji, et al. Petri net based modeling approach for semiconductor manufacturing system[J]. Computer Engineering, 2005, 31(5): 69-71

[4] Liang Liang, Guo Bo. The study of mission reliability of QRMS based on the multistage markov process[C]//7th International Conference on Computational Science. Berlin: Spring-Verlag, 2007: 202-209

[5] Mocko G M, Paasch R. Incorporating uncertainty in diagnostic analysis of mechanical systems[J]. Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME, 2005, 127(2): 315-325

[6] Plotnikov A V. 机器可靠性[M]. 四川省机械工程学会设备维修专业委员会编译. 成都: 四川人民出版社, 1983: 439-445
Plotnikov A V. Machine reliability[M]. Translated and Edited by Professional Committee of Equipment Maintenance, Sichuan Institute of Mechanics Engineering. Chengdu: Sichuan People's Publishing Company, 1983: 439-445(in Chinese)

[7] 岳朝生. 机载电子设备工艺系统可靠性分析[J]. 航空精密制造技术, 1994, 30(6): 12-15
Yue Chaosheng. Reliability analysis of processing system of airborne electronic equipment[J]. Aviation Precision Manufacturing Technology, 1994, 30(6): 12-15(in Chinese)

(责任编辑:娄 嘉)