

# 面向大批量制造的车间质量稳定性控制系统研究\*

隋鹏飞<sup>1</sup>, 王国栋<sup>1</sup>, 芮 阳<sup>2</sup>, 唐文东<sup>1</sup>, 金 伶<sup>1</sup>, 贾 顺<sup>1</sup>, 唐任仲<sup>1,2\*</sup>

(1. 浙江大学 现代制造工程研究所, 浙江 杭州 310027;

2. 浙江省汽车及零部件产业科技创新服务平台, 浙江 杭州 310012)

**摘要:**针对大批量制造环境下, 车间质量的不稳定、不合格率高、废品多等问题, 构建了一种车间质量稳定性控制系统, 并建立了该系统的工作原理和功能结构。该系统从车间过程质量和产品质量两方面来分析车间的质量稳定性状况。由于车间过程质量与产品质量之间关系的复杂性, 提出了基于灰色系统理论的车间过程质量与产品质量的关联性分析方法。利用该方法, 解决了如何确定影响某产品质量稳定性的车间过程因素的问题。在该系统的支持下, 实现了车间质量的稳定性控制。

**关键词:** 车间过程质量; 产品质量; 灰色系统; 关联性分析

中图分类号: TH166; TP39

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)03-0275-05

## Research on workshop quality stability control system for mass production

SUI Peng-fei<sup>1</sup>, WANG Guo-dong<sup>1</sup>, RUI Yang<sup>2</sup>, TANG Wen-dong<sup>1</sup>,  
JIN Ling<sup>1</sup>, JIA Shun<sup>1</sup>, TANG Ren-zhong<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Modern Manufacturing Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China; 2. Science & Technology Innovation Service Platform for Automobile & Auto-part of Zhejiang Province, Hangzhou 310012, China)

**Abstract:** Under the circumstance of mass production, in order to solve the problems, such as the unstability of the workshop quality, high percent defective and more wastes, the workshop quality stability control system was put forward. The principle and the functions of the system were constructed. In this system, the workshop quality stability was analyzed from the view of workshop process quality and product quality. Because of the complexity of relationship between workshop process quality and product quality, the method of association analysis based on the grey system theory between workshop process quality and product quality was developed. With the system and method, how to find the workshop process factors which influence product quality and the control of workshop quality stability can be realized.

**Key words:** workshop process quality; product quality; grey system; association analysis

## 0 引 言

在激烈的市场竞争环境下, 产品质量水平已成为影响企业竞争力的关键因素, 如何保证产品质量的稳定性已成为企业越来越关注的问题<sup>[1]</sup>。

我国目前很多中小制造企业在质量管理和监控方面还比较落后<sup>[2]</sup>, 主要表现为: 缺乏全面、准确、实时的质量信息; 即使有的企业通过使用 ERP 系统, 采集

了大量的质量数据, 但仍缺乏对这些数据的有效处理手段, 没有很好地利用这些数据来获得隐藏的、有用的质量信息; 质量管理体系不健全, 缺少预防和改善机制<sup>[3-6]</sup>。

文献[7]阐述了运用不合格品率控制图监控工序的生产状态, 并建立了不合格品率和过程能力之间的关系模型; 文献[8]提出了一种智能的工序状态识别方法, 并对异常的工序进行了分析诊断; 文献[9]提出

收稿日期: 2010-11-01

基金项目: 浙江省科技计划重大科技专项资助项目(2008C01038-1)

作者简介: 隋鹏飞(1985-), 男, 山东寿光人, 主要从事车间生产质量稳定性、Witness 仿真技术方面的研究. E-mail: Spf\_nuaa@126.com

通信联系人: 唐任仲, 男, 教授, 博士生导师. E-mail: tangrz@zju.edu.cn

了质量预防、诊断、反馈控制于一体的车间动态工序质量控制系统,利用试验设计的方法对机床制造工艺进行了分析;文献[10]建立了基于过程的质量管理信息系统模型,对质量的信息采集进行了详细的描述;文献[11]提出了车间级集成质量管理系统功能模型,构建了基于过程的车间级质量管理系统,并详细设计了各个功能模块;文献[12]介绍了基于在线质量检测,构建质量诊断专家系统的质量控制;文献[13]阐述了控制图在多元自相关工序控制中的应用。通过上面的文献可以看出,当前的车间质量管理系统大都注重车间质量信息的管理和工序质量诊断控制,对车间过程质量因素以及产品质量稳定性和车间过程质量因素之间的关系研究不够。

本研究提出的车间质量稳定性分为车间过程质量稳定性和产品质量稳定性两个方面,车间过程质量稳定是产品质量稳定的基础,而产品质量稳定是车间过

程质量稳定的结果。因此,本研究通过对构建的车间过程质量稳定性指标体系层次模型进行分析诊断,并对引起车间过程质量不稳定的因素进行改进,使车间过程质量稳定性不断提高;通过应用统计过程控制技术实时监控产品的质量稳定性状况,及时的消除可能引起产品质量不稳定的因素,保证产品质量的稳定。最后,运用灰色关联分析方法,研究了车间过程质量和产品质量之间的关联性。

### 1 系统工作原理

车间质量稳定性控制系统是以精益生产为指导,以持续改善车间质量稳定性为目的,以可视化管理为手段。通过对车间过程质量稳定性和产品质量稳定性进行实时分析判断,对引起质量不稳定的原因进行分析改进,不断的反馈控制,使车间生产过程质量稳定性不断提高。系统的工作原理如图 1 所示。

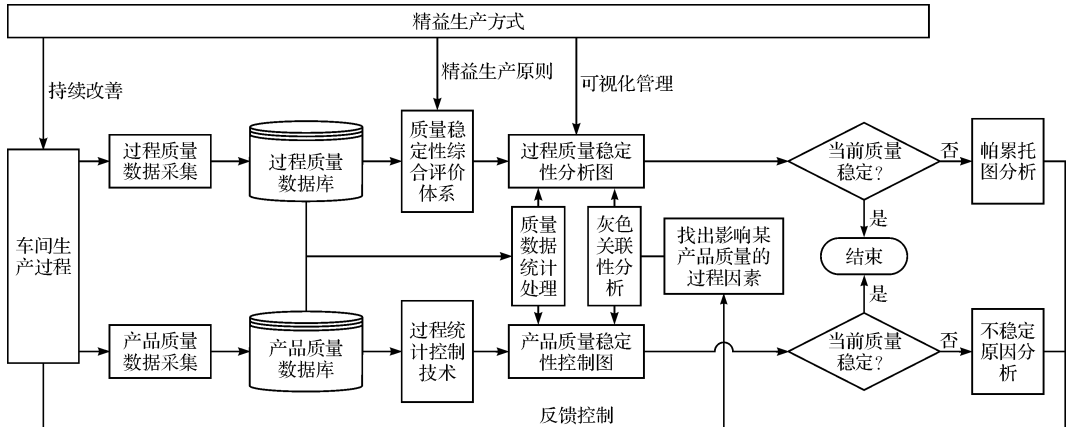


图 1 车间质量稳定性控制系统工作原理

将车间的质量稳定性分为车间过程质量稳定性和产品质量稳定性两个方面来分析。对于车间过程质量,采集如图 3 所示的车间过程质量稳定性指标体系所对应的数据(包括客观数据和主观打分数据),然后计算各层次指标的实际值,分析各层次指标的质量稳定性状况,利用帕累托图分析车间过程质量不稳定的原因。对于产品质量,通过实时采集车间生产过程中的质量数据(各关键工序各批次的加工总数、合格数、料废数、责废数、不合格数及引起不合格的原因等),采用控制图的方式,实时监控产品质量的稳定性状态,对潜在的质量不稳定性趋势及时进行预警、分析。过程质量和产品质量的关系可以描述为:过程质量的好坏决定产品质量,产品质量是过程质量的反映。所以,可以运用灰色关联性分析方法找出影响某一产品质量稳定性的过程因素。通过对不稳定的过程因素进行持续改进,使车间生产过程质量稳定性不断提高。

### 2 系统功能结构

根据如图 1 所示的系统的工作原理,以及结合用户对该系统的功能需求,车间质量稳定性控制系统的功能模块主要包括数据采集、车间质量稳定性分析、产品质量稳定性分析、相关性分析和基础数据维护等模块。系统功能结构如图 2 所示。

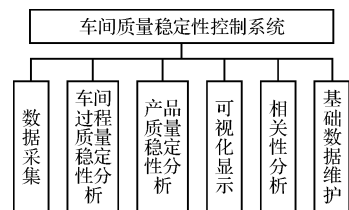


图 2 车间质量稳定性控制系统功能结构

(1) 数据采集模块。包括专家打分数据,专家对各个指标相对重要度的打分,便于计算指标的权重;过

程质量数据,各种静态质量数据,例如车间5S水平,员工技能符合率等;产品质量数据,针对车间动态的质量数据,从外购外协件入库的质量检验,经过半成品、成品工序加工,最后到入库的整个过程的质量数据,如合格数量、不合格数量、料废数量、责废数量、不合格原因等。

(2) 车间过程质量稳定性分析模块。从3个层次分析车间的质量稳定性状态:总体质量稳定性分析,通过加权计算车间质量稳定性指标体系的各个指标实际值,得出对车间的质量稳定性的评估;一级指标质量稳定性分析,把车间的总体质量稳定性分为4部分,即外购外协件质量稳定性、车间资源质量稳定性、制造过程质量稳定性、管理过程质量稳定性,对相对应的二级指标实际值采用加权计算方法,得到一级指标的质量稳定性值;二级指标的质量稳定性,通过分析各个底层指标的实际值,来分析其质量稳定性状态。

(3) 产品质量稳定性分析模块。分析从外购外协件入库到成品入库整个车间生产过程的质量稳定性状态;运用过程统计控制技术,对各个物料、各个工位进行实时监控;根据控制图的趋势,对潜在的质量问题进行预警、分析。

(4) 可视化显示模块。主要是将车间质量稳定性的分析结果显示给管理者。车间过程质量稳定性的分析结果可以显示到车间级电子看板上,产品质量的分

析结果可以显示到相应的电子看板上。同时,也可以将车间质量稳定性分析结果以短信的形式发送到管理者手机上,帮助管理者实时的掌控车间质量状况。

(5) 车间过程质量和产品质量相关性分析模块。主要是针对某产品的质量稳定性,分析影响该产品质量稳定性的车间过程因素。通过分析,确定影响该产品质量稳定性的车间过程因素。

(6) 基础数据维护模块。包括质量稳定性分析的起始时间、数据的采样周期、工作的班次等系统初始化参数的设置;对手机参数和电子看板参数的设置;打标准管理,对一些主观指标的客观评价标准进行设定;档案管理,主要是对各种档案的维护。

### 3 车间质量稳定性分析

车间质量稳定性分为车间的过程质量稳定性和产品质量稳定性两方面。通过利用灰色关联性分析方法,确定影响某产品质量稳定性的车间过程因素。

#### 3.1 车间过程质量稳定性分析

车间过程质量稳定性是由5M1E(人、机、料、法、环、测)决定的,通过对这些影响因素深入分析,将车间过程质量研究分为外购外协件质量、车间资源质量、制造过程质量、管理过程质量这4个方面。具体的指标体系如图3所示。

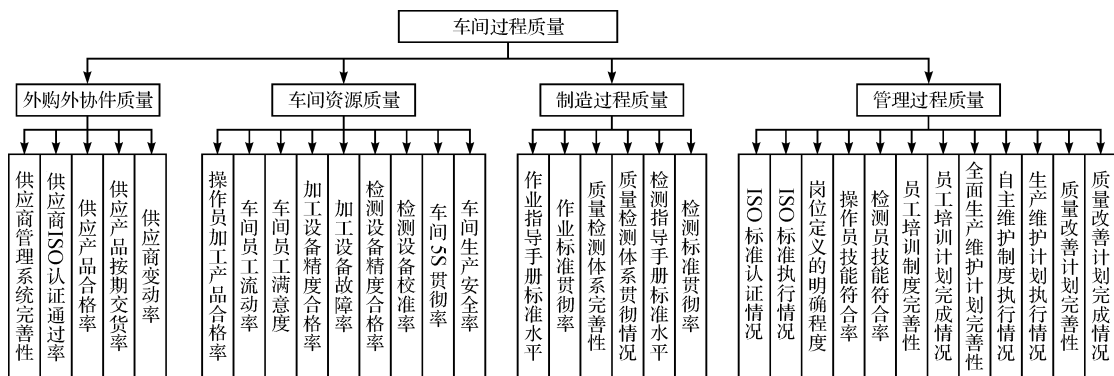


图3 车间过程质量稳定性指标体系

该指标体系包括3层,采用专家打分的方法确定各层次指标的权重。最底层是二级指标,可以通过计算或打分获得,通过对二级指标加权计算可以获取一级指标的质量稳定性值(外购外协件质量稳定性值、车间资源质量稳定性值、制造过程质量稳定性值、管理过程稳定性值),通过对一级指标加权计算,获得车间过程质量稳定性值。

一级指标(以外购外协件质量稳定性为例)的计算公式如下:

$$f(x, t) = \sum_{i=1}^5 \beta_i x_i(t) \tag{1}$$

式中: $t$ —计算日期, $\beta_i$ —第*i*个二级指标对其一级指标的权重, $x_i$ — $t$ 时间采集到的第*j*个二级指标的实际值。

车间过程质量稳定性值计算公式如下:

$$F(x, t) = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^m w_i \beta_{ij} x_{ij}(t), m = \begin{cases} 5, & i = 1 \\ 9, & i = 2 \\ 6, & i = 3 \\ 12, & i = 4 \end{cases} \tag{2}$$

式中： $t$ —计算日期， $m$ —各一级指标中包含的二级指标数量， $w_i$ —第  $i$  个一级指标对目标值的权重， $\beta_{ij}$ —第  $i$  个一级指标中第  $j$  个二级指标对其一级指标的权重， $x_{ij}$ — $t$  时间采集到的第  $i$  个一级指标中第  $j$  个二级指标的实际值。

计算出车间过程质量稳定性值和各一级指标稳定性值后，可绘制在控制图上，通过稳定性值的波动和变化趋势，来判断车间质量的稳定性状态，以辅助管理者进行决策。若计算得到的质量稳定性值过低，或质量稳定性值波动太大，则说明车间质量出现不稳定的趋势，利用帕累托图分析不稳定原因。

### 3.2 产品质量稳定性分析

产品质量是指从外购外协件的入库检验，经过半成品、成品工序加工，再到半成品、成品的入库检验，整个生产过程中涉及到的质量。产品质量结构图如图 4 所示。

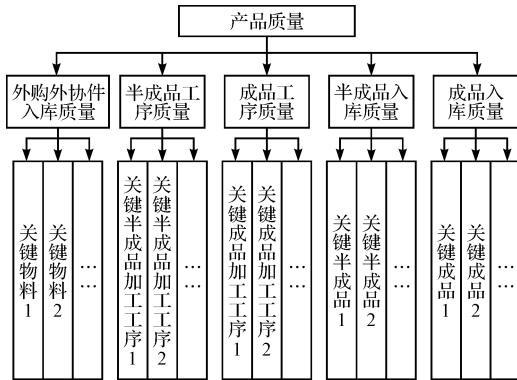


图 4 产品质量结构图

本系统是采用 P 控制图（不合格品率控制图）对产品质量稳定性进行实时监控。实施的具体步骤为：

首先，根据企业的实际情况确定关键物料（针对外购外协件入库、半成品/成品入库）和关键工序（针对半成品/成品工序加工），根据企业对外协外购件或半成品、成品入库的合格率的要求，以及考虑到半成品加工工序和成品装配工序的工序过程能力，合理的确定其控制中心线 $\bar{p}$ 。

然后，根据公式：

$$UCL = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (3)$$

式中： $n$ —批次数量， $\bar{p}$ —不合格品率控制中心线值。

计算控制上限，下限取自自然界限 0。以每批次为一组，计算不合格品率，绘制在控制图上，以 GB/T4091-2001 八大判异原则为指导准则，实时监控控制图上各个点的状态。对失控的点进行预警，对半成品/成品加工工序，结合质量检验的不合格品报告单及细目，对外购外协件入库或半成品/成品入库，结合入库检验报告单及细目，分析失控的原因。

### 3.3 车间过程因素与产品质量稳定性的关联性分析

由于车间生产加工过程的随机性和不确定性，整个车间生产系统是一个灰色系统，其中部分信息已知，部分信息未知，通过建立数学模型的方法分析车间过程质量与产品质量的关系非常困难。但是，车间过程质量与产品质量之间确实存在内在的关联性，于是，可以采用灰色关联分析方法来分析两者之间的关联性。通过分析，找出影响某一产品质量的过程因素，使车间质量稳定性不断提高。具体分析过程如下：

由构建的车间过程质量稳定性指标体系，假设某段时间内（ $n$  天），通过数据采集获得各二级指标的实际值如下（设采样周期为 1 天）：

各个二级指标的实际值为：

$$a_i = (a_i^1, a_i^2, a_i^3, \dots, a_i^n); i = 1, 2, 3, \dots, 32$$

通过加权计算各一级指标值如下：

外购外协件质量稳定性值：

$$X_1 = (x_1^1, x_1^2, x_1^3, \dots, x_1^n);$$

制造过程质量稳定性值：

$$X_2 = (x_2^1, x_2^2, x_2^3, \dots, x_2^n);$$

车间资源质量稳定性值：

$$X_3 = (x_3^1, x_3^2, x_3^3, \dots, x_3^n);$$

管理过程质量稳定性值：

$$X_4 = (x_4^1, x_4^2, x_4^3, \dots, x_4^n);$$

设该段时间内半成品 A 加工工序合格率为：

$$X_0 = (x_0^1, x_0^2, x_0^3, \dots, x_0^n)。$$

问题可描述为：利用以上的数据，如何确定对半成品 A 质量稳定性影响最大的车间一级指标因素，以及二级指标因素。

以 30 天为采样时间段，以 1 天为采样周期，所采集的数据如表 1 所示：

表 1 一级指标值及半成品 A 的合格率

	1	2	3	4	5	6	25	26	27	28	29	30
外购外协件质量稳定性值( $X_1$ )	0.89	0.95	0.97	0.91	0.81	0.97	0.69	0.93	0.95	0.95	0.85	0.89
制造过程质量稳定性值( $X_2$ )	0.87	0.97	0.69	0.87	0.8	0.86	0.84	0.94	0.91	0.96	0.95	0.78
车间资源质量稳定性值( $X_3$ )	0.69	0.91	0.75	0.67	0.97	0.83	...	0.89	0.89	0.79	0.79	0.91
管理过程质量稳定性值( $X_4$ )	0.99	0.67	0.75	0.89	0.94	0.75	0.97	0.92	0.89	0.69	0.97	0.91
半成品 A 加工工序合格率( $X_0$ )	0.95	0.94	0.89	0.94	0.93	0.91	0.93	0.94	0.86	0.94	0.79	0.87

(1) 求各一级指标对半成品 A 加工合格率的绝对关联度。

由绝对关联度计算公式:

$$\varepsilon_{0i} = \frac{1 + |s_0| + |s_i|}{1 + |s_0| + |s_i| + |s_i - s_0|}; i = 1, 2, 3, 4 \quad (4)$$

其中:

$$|s_i| = \left| \sum_{k=1}^{29} x_i^0(k) + \frac{1}{2}x_i^0(30) \right|; i = 0, 1, 2, 3, 4 \quad (5)$$

$$|s_i - s_0| = \left| \sum_{k=1}^{29} (x_i^0(k) - x_0^0(k)) + \frac{1}{2}(x_i^0(30) - x_0^0(30)) \right|; i = 1, 2, 3, 4 \quad (6)$$

$$X_i^0 = (x_i(1) - x_i(1), x_i(2) - x_i(1), x_i(3) - x_i(1), \dots, x_i(29) - x_i(1), x_i(30) - x_i(1)) \quad (7)$$

得:

$$\varepsilon_{01} = 0.777 2; \varepsilon_{02} = 0.760 9; \varepsilon_{03} = 0.810 7; \varepsilon_{04} = 0.719 5。$$

(2) 求各一级指标对半成品 A 加工合格率的相对关联度。

由相对关联度计算公式:

$$r_{0i} = \frac{1 + |s'_0| + |s'_i|}{1 + |s'_0| + |s'_i| + |s'_i - s'_0|}; i = 1, 2, 3, 4 \quad (8)$$

其中:

$$|s'_i| = \left| \sum_{k=1}^{29} x_i^0(k) + \frac{1}{2}x_i^0(30) \right|; i = 0, 1, 2, 3, 4 \quad (9)$$

$$|s'_i - s'_0| = \left| \sum_{k=1}^{29} (x_i^0(k) - x_0^0(k)) + \frac{1}{2}(x_i^0(30) - x_0^0(30)) \right|; i = 0, 1, 2, 3, 4 \quad (10)$$

$$X'_i = (x'_i(1), x'_i(2), x'_i(3), \dots, x'_i(29), x'_i(30)) = \left( \frac{x_i(1)}{x_i(1)}, \frac{x_i(2)}{x_i(1)}, \frac{x_i(3)}{x_i(1)}, \dots, \frac{x_i(29)}{x_i(1)}, \frac{x_i(30)}{x_i(1)} \right); i = 1, 2, 3, 4 \quad (11)$$

得:

$$r_{01} = 0.740 8; r_{02} = 0.846 2; r_{03} = 0.664 7; r_{04} = 0.705 1。$$

(3) 根据绝对关联度和相对关联度,求综合关联度(取  $\theta = 0.5$ )。

由综合关联度计算公式:

$$\rho_{0i} = \theta\varepsilon_{0i} + (1 - \theta)r_{0i}; i = 1, 2, 3, 4 \quad (12)$$

得:

$$\rho_{01} = 0.759 0; \rho_{02} = 0.803 6; \rho_{03} = 0.737 7; \rho_{04} = 0.712 3。$$

(4) 结果分析。

由  $\rho_{02} > \rho_{01} > \rho_{03} > \rho_{04}$  可知:制造过程质量稳定性对半成品 A 加工质量的影响最大;其次是外购外协件的质量稳定性;然后是车间资源质量稳定性和管理过程质量稳定性。

根据如图 3 所示的车间过程质量稳定性指标体

系,制造过程质量包括:操作工加工产品合格率、车间员工流动率、车间员工满意度、加工设备精度合格率、加工设备故障率、检测设备精度合格率、检测设备校准率、车间 5S 贯彻率、车间生产安全率。初步推断为加工设备精度合格率过低导致半成品 A 合格率不稳定。可以对上面的 9 个指标与半成品 A 的合格率再做灰色相关性分析,从而进一步确定是哪个指标。

## 4 结束语

本研究针对在大批量生产环境下,车间质量水平低下,对引起产品质量不稳定的车间过程因素难以确定等问题,构建了一种车间质量稳定性控制系统,从车间过程质量和产品质量两方面来分析车间的质量稳定性,建立了系统的工作原理和功能结构。提出了基于灰色系统理论的车间过程因素与产品质量稳定性关联性分析方法。并通过一个具体的实例对该方法的应用进行了阐述。在该系统的支持下,实现了车间质量稳定性的分析与监控,保证了车间质量的稳定性。

## 参考文献(References):

- [1] 王 侃,文昌俊.基于过程能力的制造企业质量竞争力模型研究[J].中国机械工程,2007,18(14):1694-1693.
- [2] 尹 超,尹 胜,刘 飞.车用空调装配车间集成化生产作业管理系统[J].计算机集成制造系统,2009,15(3):544-552.
- [3] 熊和金,陈德军.基于灰色系统理论的数据挖掘技术[J].系统工程与电子技术,2004,26(2):184-186.
- [4] 刘军强,王侃昌.基于 ISO9000 的制造企业信息质量的保障方法研究[J].铸造技术,2006,27(11):1258-1261.
- [5] ALBERTO B, JAVIER M. Quality management and high performance work practices: do they coexist[J]. International Journal of Production Economics, 2001, 73(3): 251-259.
- [6] CHIN K S, RAO V M, TUMMALA K, et al. Quality management practices based on seven core elements in Hong Kong manufacturing industries[J]. Technovation, 2002, 22(4):213-230.
- [7] 房纪涛,邓卫伟,于树松.面向产品不合格品率的制造过程质量监控系统[J].绿色质量工程,2008(11):51-53.
- [8] 吴少雄.智能统计工序质量控制体系研究[J].计算机集成制造系统,2006,12(11):1832-1838.
- [9] 王 慧,李刚炎,李贵夫,等.基于车间信息集成的工序质量控制技术研究[J].组合机床与自动化加工技术,2007(10):98-103.
- [10] 沈维蕾,赵 韩,何志成.基于过程的质量管理信息系统建模方法[J].农业机械学报,2007,38(1):177-183.
- [11] 袁 峰,谢里阳,易 刚.CIMS 环境下车间级集成质量系统研究[J].计算机工程与应用,2003,39(31):24-26.
- [12] 刘汉武,严卫东,杨爱民.吕型材生产过程质量控制系统的研究[J].机电工程,2001,18(5):40-41.
- [13] JARRETT J E, PAN Xia. The quality control chart for monitoring multivariate autocorrelated processes [C]//2007, Computational Statistics & Data Analysis 51, 2007: 3862-3870.