

文章编号:1000-582X(2004)07-0094-03

大规模定制下工序能力指数分析*

李奔波,李传昭,何利娟,赵鹏

(重庆大学经济与工商管理学院,重庆 400030)

摘要:大规模定制是企业运用先进技术和手段对每个顾客的要求进行个性化定制,而产品成本和时间同大批量生产相一致的一种全新生产模式。分析了大规模定制的概念和特征,对国内外多品种、小批量生产的工序能力指数研究现状进行了回顾,对大规模生产和大规模定制两种模式进行了比较。在对工序能力指数的点估计及置信区间进行分析的基础上,提出了面向大规模定制生产下工序能力指数的确定方法。

关键词:大规模定制;过程控制;质量管理;工序能力指数

中图分类号:F270.7

文献标识码:A

随着市场竞争的加剧,传统生产管理所强调的低成本高质量已不再是提高企业竞争力的主要因素。现代市场竞争越来越强调的是基于时间的竞争和基于客户需求的竞争。即一方面要求企业、制造商从产品定制方面充分满足顾客需求,同时要求产品交货时间尽可能短,即快速响应顾客多样化需求;另外,为了获得竞争优势,产品的生产成本必须尽可能低。也就是说必须以大量生产方式的低生产成本来快速满足顾客个性化需求,为每一位顾客提供符合要求的定制产品。

大规模定制(Mass Customization, MC)就是在这种市场环境条件下而形成的一种新的生产方式。即在大规模生产的基础上,通过产品结构和制造过程的重组,运用现代信息技术、新材料技术、制造技术等一系列手段,以大规模生产的成本和速度,为单个顾客或小批量、多品种市场定制任意数量的产品的一种生产模式。这种全新的生产模式对基于少品种、大批量生产的传统的质量管理提出了挑战。

1 大规模生产模式和大规模定制模式下质量管理的比较

大规模生产模式和大规模定制模式下质量管理的比较如表1。

表1 大规模生产模式和大规模定制模式的质量管理的区别

	大规模生产	大规模定制
质量管理导向	以产品生产为中心	以顾客需求为中心
质量目标	达到可接受的水准	较高满足客户任何时间任何要求
生产驱动模式	根据市场预测生产推动式的生产方式	根据客户定单生产拉动式的生产方式
主要特征	产品单一,数量大,产品开发周期长,产品生命周期长,机器设备专用,设备调整时间长,调整费用高	产品随客户需求而变,数量不定,产品开发周期短,产品生命周期短,柔性的机器设备,调整时间短,调整费用低
战略	成本领先战略,通过降低成本、提高生产效率获取竞争优势	差异化战略,通过快速反应,提供个性化的低成本产品获取竞争优势

传统的质量管理采用的过程控制方法主要是统计过程控制(Statistic Process Control, SPC), SPC是一种评价工序是否达到和保持统计控制状态的一种有效统计工具。其采用传统的休哈特(shewhart)控制图是基于大批量生产方式,以充足的数据作为保障的,因而不适用于大规模定制条件下小批量生产方式的控制。目前,小批量控制图还没有成熟的理论模型和有效的应

* 收稿日期:2004-03-30

基金项目:国家自然科学基金资助项目(70272043)

作者简介:李奔波(1966-),男,湖南新化人,重庆大学讲师,博士研究生,主要研究方向为生产管理、质量管理、大规模定制。

用方法,这就大大限制了 SPC 的应用范围和实际效果。SPC 作为生产过程质量控制非常重要的工具,如何将它应用到面向大规模定制的多品种小批量生产控制中去,使其成为面向大规模定制环境下质量管理重要的组成部分,已成为大规模定制企业面临和亟待解决的问题。

笔者尝试在大规模定制生产模式下,对 SPC 重要工具之一的工序能力指数进行研究,在分析工序能力指数的点估计及置信区间的基础上,提出基于大规模定制生产模式下工序能力指数的确定方法。

2 过程能力分析和工序能力指数

过程能力是指过程(或工序)处于稳定状态下的实际加工能力,它是衡量工序质量的一种标志。即过程处于统计控制状态下,加工产品质量正常波动的经济幅度,通常用质量特性值分布的 6 倍标准偏差来表示,记为 6σ 。 σ 综合反映了过程六大因素各自对产品质量产生的影响。因此, σ 是过程能力大小的度量基础。当产品质量特性值服从平均值为 μ ,标准偏差为 σ 的正态分布时,根据正态分布的性质,在 $(\mu \pm 3\sigma)$ 范围内的概率为 0.997 3,几乎包括了全部的质量特性值。 6σ 范围被认为是产品质量正常波动的合理的最大幅度,它代表了一个过程所能达到的质量水平。因此,过程能力一般用 6σ 来表示。显然 6σ 越大,即过程质量波动越大,过程能力越低; 6σ 越小,过程能力越高。

为了能够反映和衡量过程能力满足技术要求的程度,有必要引进一个新的指标,这就是通常所说的过程能力指数。过程能力指数 (C_p) 定义为产品的技术要求(公差)与过程能力之比,即:

$$C_p = \frac{T_U - T_L}{6\sigma} \quad (1)$$

式中, T_U 为公差上限,为 T_L 公差下限, σ 是未知参数,一般用样本标准差 $S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ 作为对 σ 的估计, n 为样本容量。

3 工序能力指数的点估计及置信区间

由式(1)可知,对 C_p 的估计,有

$$\hat{C}_p = \frac{T_U - T_L}{6S} = \frac{\sigma}{S} C_p \quad (2)$$

Kotz 和 Johnson^[1] 对 \hat{C}_p 的 r 阶矩进行了研究,给出了 \hat{C}_p 的 r 阶矩

$$E[\hat{C}_p^r] = \left(\frac{n-1}{2}\right)^{\frac{r}{2}} \frac{\Gamma\left[\frac{n-1-r}{2}\right]}{\Gamma\left[\frac{n-1}{2}\right]} C_p^r \quad (3)$$

由此可知, \hat{C}_p 的期望为

$$E[\hat{C}_p] = \left(\frac{n-1}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{\Gamma\left[\frac{n-2}{2}\right]}{\Gamma\left[\frac{n-1}{2}\right]} C_p = \frac{1}{b_n} C_p \quad (4)$$

式中 n 为样本容量, $\Gamma(\cdot)$ 表示的是伽玛函数。

从式(4)可知, \hat{C}_p 是 C_p 的有偏估计,而 $b_n \hat{C}_p$ 才是 C_p 的无偏估计,在不同的样本容量下, b_n 有以下的取值。

表 2 不同样本容量 n 下的 b_n 值

n	10	20	30	40	50	60
b_n	0.902 7	0.957 6	0.972 9	0.980 1	0.984 3	0.987 0
n	70	80	90	100	110	120
b_n	0.988 9	0.990 3	0.991 4	0.992 3	0.993 0	0.993 6

当样本容量 n 趋于无穷大时, \hat{C}_p 是 C_p 的无偏估计。一般情形下,当样本容量 n 足够大 ($n > 100$) 时, $b_n \approx 1, E(\hat{C}_p) \approx C_p$ 。

在进行过程能力分析时,除了要计算 C_p 的点估计外,还要对 C_p 的置信区间进行分析。

给定显著水平 $1 - \alpha, C_p$ 大于给定的推荐值 c_0 的概率为

$$P_r\{C_p \geq c_0\} = 1 - \alpha$$

由式(2)可知:

$$\frac{C_p}{\hat{C}_p} = \frac{S}{\sigma}, \text{ 而 } \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} \sim \chi^2(n-1)$$

因此有:

$$P_r\left\{\frac{(n-1)C_p^2}{\hat{C}_p^2} \geq \frac{(n-1)c_0^2}{\hat{C}_p^2}\right\} = 1 - \alpha \quad (5)$$

由于 $\frac{(n-1)C_p^2}{\hat{C}_p^2}$ 服从自由度为 $n-1$ 的 χ^2 分布,故有:

$$\frac{(n-1)c_0^2}{\hat{C}_p^2} = \chi_{1-\alpha}^2(n-1)$$

$$c_0 = \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha}^2(n-1)}{n-1}} \hat{C}_p \quad (6)$$

式中 $\chi_{1-\alpha}^2(n-1)$ 为 $\chi^2(n-1)$ 的左侧 α 分位点。

令 $A_{\alpha p} = \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha}^2(n-1)}{n-1}}$ 得:

$$c_0 = A_{\alpha p} \cdot \hat{C}_p \quad (7)$$

$A_{\alpha p}$ 表示在置信度为 $1 - \alpha$, 样本数量为 n 下最小推荐值 c_0 的置信下限系数,它是样本数量和置信度的函数,表

3 列出了在 95% 置信度和不同样本数量 n 下的 A_{cp} 值。

表 3 最小推荐值 c_0 的 95% 置信下限系数 A_{cp}

n	5	10	15	20	30
A_{cp}	0.42	0.61	0.68	0.72	0.78
n	40	50	60	80	100
A_{cp}	0.81	0.83	0.85	0.87	0.90

由此可得出:当从式(7) 计算得到的 c_0 值大于等于给定的 C_p 推荐值时,则有 $100(1 - \alpha)\%$ 置信度认为工序有能力满足要求。

在式(6) 中,令 $B_{cp} = \sqrt{\frac{n-1}{\chi_{1-\alpha}^2(n-1)}}$ 为在 $1 - \alpha$ 置

信度和样本数量为 n 下的最小估计值

则在给定的推荐值 c_0 和 $1 - \alpha$ 置信度下 C_p 的最小估计值 \hat{C}_{pt} 为:

$$\hat{C}_{pt} = B_{cp} \cdot c_0 \quad (8)$$

在 95% 置信度下不同样本数量 n 的 B_{cp} 值列于表 4。

表 4 最小估计值的 95% 置信下限系数

n	5	10	15	20	30
B_{cp}	2.37	1.65	1.37	1.28	1.23
n	40	50	60	70	80
B_{cp}	1.23	1.20	1.18	1.16	1.15

因此,在给定的推荐值 c_0 下。若要保证 $P_r\{C_p \geq c_0\} = 1 - \alpha$,可通过表 4 查得相应的 B_{cp} ,从而得出 $\hat{C}_{pt} = B_{cp} \cdot c_0$,即为 C_p 估计值的 95% 置信下限。当 C_p 的估计值 \hat{C}_p 大于 \hat{C}_{pt} ,则以 95% 置信度认为工序能力满足要求。

4 结 论

从表 4 可以看出, $B_{cp} > 1$,这表明 \hat{C}_{pt} 通常比 c_0 大才能保证以 $1 - \alpha$ 的置信度满足 $C_p > c_0$ 的要求。在大规模定制条件下,当样本较少时, B_{cp} 较大,则 \hat{C}_{pt} 较大,说明对 C_p 的最小估计值要求较高

当 n 大于 100 以上, B_{cp} 接近于 1, \hat{C}_{pt} 接近于推荐值,说明 C_p 的点估计 \hat{C}_p 趋于精确;在大规模定制条件下,如果 \hat{C}_p 比推荐值 c_0 差别较大,就可以用点估计 \hat{C}_p 代替最小估计值 \hat{C}_{pt} 来对工序能力进行分析。

参考文献:

- [1] SAMEUL KOTZ, JOHNSON N L. Process Capability Indices[M]. London:Chapman & Hall,1993.
- [2] ROGERS G G, BOTTAC I L. Modular production system: a new manufacturing paradigm[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 1997, (8):147-156.
- [3] EVANS D J, SAHIMI M S. Group explicit methods for hyperbolic equations[J]. Computer Math Applicant, 1988, 15:75-79.
- [4] 徐贤浩,马士华. 顾客化大量生产环境下生产管理新模式的研究[J]. 中国机械工程,2001, (8):897-900.
- [5] B. 约瑟夫·派恩二世. 大规模定制:企业竞争的新前沿[M]. 北京:中国人民大学出版社,2000.
- [6] 樊树海,肖田元,郝猛. 大规模定制下质量保证的研究[J]. 航空精密制造技术,2002, (6):1-3.
- [7] 刘达斌,刘伟. 建立面向大规模客户化定制的产品设计流程模型[J]. 重庆大学学报(自然科学版),2002,25(6):16-18.

Study on Process Capability Indices for Mass Customization

LI Ben-bo, LI Chuan-zhao, HE Li-juan, ZHAO Peng

(College of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Mass customization is a kind of fine-new production mode that corporations make individual customization for every customer's requirements by advanced technologies and managerial methods while the costs and time are the same as the volume-production. This paper analyzes the conception and characters of mass customization. And it reviews the current research of Process Capability Indices (PCI) of variety-and-batch production home and abroad. Volume-production and mass customization are compared in the paper. On the basis of discussion of the point estimates and lower confidence limits of SPC, it brings forward the method to fix on PCI of mass customization.

Key words: mass customization; process control; quality management; process capability indices