

SPC、EPC 和田口方法的比较与评价

张 黎

(郑州航空工业管理学院,河南 郑州 450015)

摘 要:过程波动是引起产品质量问题的根源,波动的减少就意味质量的改进。在探讨3种质量改进方法的基础上,对3种质量改进方法进行了比较和评价,提出了一个整合SPC、EPC和田口方法的概念框架,以达到监测和改进过程质量的目的

关键词:质量改进;SPC;EPC;田口方法

中图分类号:F22

文献标识码:A

文章编号:1001-7348(2005)09-0111-03

0 前言

现代质量科学的主题是连续质量改进,尤其是在低成本下进行的改进。20世纪80年代以来,文献中讨论了许多监控和提升产品质量的方法,从改进质量的角度可以归为3类:质量管理、质量工程和技术革命。技术革命是指新能源、新材料的引入,新技术的开发利用以及生产组织结构(如并行工程)的变革。技术革命无疑带来质量改进的飞跃,甚至是革命性的突破。然而它的特点是以付出高成本、大代价为前提的。而质量管理和质量工程的共同特点是以低投入进行质量改进的。如戴明14点、6 σ 方法属于质量管理的范畴。统计过程控制(SPC)和工程过程控制(EPC)以及田口方法属于质量工程的范畴。

基于改进质量方法的分类,SPC、EPC和田口方法是质量工程范畴质量改进的重要方法,这3种方法的共同目标是减少过程波动。虽然,这3种方法自提出以来一直受到学术界和工业界的广泛重视,人们对此从多个方面开展了研究,但对3种方法在质量改进中的互补作用探讨较少;并且,在大多数情况下,单一的方法并不是充分的,需要整

合他们才能更有效的改进质量。因此,本研究将从下列3个方面展开:①以减少波动为核心建立质量改进的统计思维模型;②探讨3种方法论对质量改进的作用和关系;③提供一个合理的质量改进整合的方法论框架。

1 质量改进的统计思维模式

统计是描述过程波动的语言,没有统计学,就难以理解过程中的各种波动。以休哈特、戴明等统计学家的理论和思维模式为基础,Snee^[1]提出了质量改进中的统计思维模式:企业的所有活动都可以看成一系列相互联系的过程,过程总有波动,识别、量化、控制并减少波动获得质量改进,进而达到顾客满意的最终质量目标。

基于统计思维模式,过程波动有两种状态,一种是正常原因引起的波动,一种是特

殊原因的波动。减少特殊原因的波动,适合的方法是SPC和EPC,以及二者的整合;而减少正常原因引起的波动,适合的方法为田口方法。

2 改进质量的3种方法

2.1 SPC方法

(1)常用控制图。SPC的一些统计方法被广泛用于监测和改进制造过程的质量和生产力,其中最核心的方法是控制图技术。1924年由休哈特^[2]开发的常规控制图仍然是现今改进质量的有效工具,但由于休哈特控制图只是根据控制统计量当前单一的观测值打点监测,对探测过程突变和大波动灵敏,但往往无法立即发现过程均值已发生的小偏移。为了克服这一缺陷,1954年Page^[3]开发了累积和(CUSUM)图^[3],即利用累积和的概念将过去一段时间的样本观测值加总作为控制图的打点统计量;1959年Roberts^[4]开发了指数加权移动平均(EWMA)图^[4],即给定最近观测值一个权数,给予过去观测值累加值权数,使得权数呈现指数递减的形式来构造统计量。这两种控制图的统计量都能将微小的偏移量聚集成一种大的异常讯

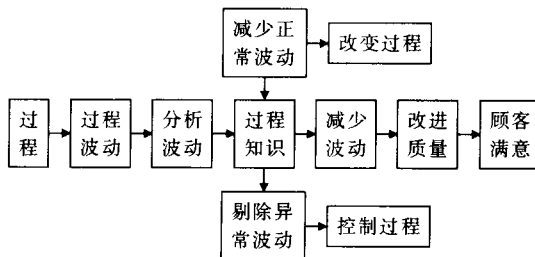
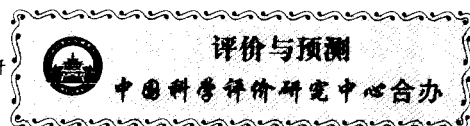


图1 连续质量改进的统计思维模式

收稿日期:2005-03-14

基金项目:国家自然科学基金资助项目(70072029,70125004)

作者简介:张黎(1963-),女,河南叶县人,西北工业大学管理学院博士生,郑州航空工业管理学院副教授,研究方向为质量管理和质量工程。



号反应在控制图上,是在休哈特思想原理上的扩展,对于探测均值小漂移效果显著。例如,对过程均值偏离目标值一个标准差的小波动,在不增加假警报的概率下,休哈特控制图的平均运行长度(ARL)为 44,而 EWMA 的 ARL 为 10 这 3 类控制图以及 3 类控制图的联合是最为广泛应用的控制图。

(2) 监测过程改进质量。在 SPC 中,一个稳态的过程被定义为只有正常原因波动的过程,它有一个稳定的波动分布或可预测的一个或多个输出分布的数字特征,如均值和围绕均值波动的方差。如果过程是非稳态的,说明过程中特殊原因的波动并不是过程固有的。控制图作为监测工具,可以探测到非稳态的信号,作为失控的警报。当控制图发出信号时,应采取措施识别特殊原因的波动。即过程必须被修正,否则将直接影响后续过程的生产。因此,控制图监测过程保持稳态,起到了预防质量问题的作用。

然而,为了不断提高产品质量,除了要消除特殊原因的波动外,正常原因的波动也要不断地减少。这时仍然需要利用控制图探测稳态过程波动的大小,与过程开始固有的波动水平进行比较,以决定是否要重新设计过程,减少正常原因引起的波动,从而起到改进质量的作用。

值得注意的是,控制图常常被使用(误用)保证产品质量,但这并不是这个工具的主要目的,控制图的主要目的不是保证产品符合规范限度,而是要控制过程稳态。因为稳态的过程并不意味着产品在规范限内,为了保证产品满足规范要求,过程能力研究可作为补充工具。

(3) 控制图的局限性。控制图有两个假定,过程输出独立且近似正态分布,换句话说,过程输出均值和方差没有变化。如果违背这两个假定,控制图是毫无意义的。然而,在许多实际的过程中却违背了这样的假设,尤其是在现代自动化制造环境下,除了工具磨损、机械操作等过程要素的惯性变化的影响之外,相对较短的抽样间隔和样本容量使得过程观测数据表现为高度的自相关性,自相关的过程特性已经成为现代制造环境中普遍存在的、不容忽视的关键特性。例如,Alwan 和 Roberts^[5]对实际中构建的 235 个控制图进行了研究,发现 85% 的控制限不正确,其中有一半以上违背了独立性的假定。

这样不仅无法发挥控制图的监测效果,而且增加了控制图假警报的机会,导致过程生产发生停顿的次数增多,造成时间和成本无谓的损失及浪费。

2.2 EPC 方法

工程过程控制(EPC)主要是在连续生产线上利用反馈、前馈及其二者结合的原理调整过程,由于调整通常要用到自动设备,所以也称为自动过程控制(APC)^[6]。过程调整最初是应用于连续过程的一种控制方法,由于它对于自相关过程可以提供更好的预测,并通过控制输入的选择保证过程输出尽可能接近目标值,因此被引入并广泛用于零件制造工业,以解决自相关过程的质量控制问题。

(1) 反馈控制。反馈控制的主要目的是通过补偿过程干扰的影响,保证过程输出在目标值上。它不用消除过程干扰因素,这是与 SPC 致力于消除干扰的主要区别。如,若材料有干扰,不是改变材料而是改变过程输入设置去补偿这个干扰。为了控制过程,需要频繁地或连续地测量产品或过程特性并与目标值比较,如果有偏离,可以通过一个可控因素(或设置)的自动改变补偿观察到的偏离。

图 2 是一个简单的反馈控制图。反馈调整后的输出误差为 $e_t = y_t + Y_t$, 其中 $y_t = r(B)X_t$ 为过程动态转移函数,即控制变量与输出的关系, Y_t 为自相关过程的干扰模型(如刀具磨损); 一个最小均方误差(MMSE)控制器为: $X_t = -L(B)e_t$ 。这里 B 为后移算子, $BX_t = X_{t-1}$ 。

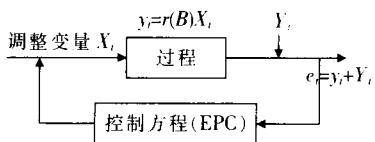


图 2 过程反馈调整方案

(2) 过程调整改进质量。为了保证后续产品的偏离回归目标值,这种反馈控制是基于自相关设计的,即测量产品数 n 与下一个产品 $n+1$ 或测量时间 $t+1$ 相关,这样基于第 n 个产品的偏移,通过设计合适的控制器,可以补偿第 $n+1$ 个产品的偏移。调整补偿后,过程输出误差不仅相互独立,而且波动减小,由此,EPC 起到了改进质量的作用。

例如,常见的一阶自回归模式 AR(1):

$$Y_t = \phi Y_{t-1} + a_t \quad (3)$$

其中 ϕ 为 AR(1)的参数,且满足 $|\phi| < 1$,

误差项 $a_t \sim N(0, \sigma_a^2)$, 则 $\sigma_y^2 = \frac{\sigma_a^2}{1 - \phi^2}$, 且有 $\sigma_y > \sigma_a$ 。

然而,调整后 $e_t = a_t, \sigma_y = \sigma_t = \sigma_a$ 。

2.3 田口方法

田口博士是设计质量的积极倡导者,他开发和提出了改进过程的各种方法和概念,如,二次损失函数、三次设计、正交表等。田口自己是一个工程师,田口方法使用了工程术语,没有太多的数学推理,工程师容易理解。虽然传统质量控制的统计学术界对田口方法有很多争论,但田口方法却在实践中得到普遍的应用。

(1) 二次质量损失函数。从经济角度出发,质量定义为产品出厂后带给顾客和社会的经济损失,包括由产品质量特性 y 的波动所引起的损失和有害影响造成的损失两个方面^[7],并且这些损失以二次函数: $L(y) = k(y - T)^2$ 进行量化计算,当 y 等于目标值 T 时,质量损失为零,只要 y 偏离目标值,质量损失的增加是连续的。因此,要努力使质量特性输出更接近目标值,质量损失才更少,顾客才更满意。

二次质量损失函数的原理阐述了正是围绕设计目标值的波动引起质量损失,只要有波动,就会造成质量损失,并且波动越大,造成的质量损失也就越大。这样定义质量的优越性之一在于总能提供对质量的连续改进。众所周知,不管科学技术多么发达,人们都无法彻底消除过程中随机因素的干扰,只要有干扰,过程输出的波动不可能为零,那么,我们总能求得它,如果改进的费用合适,就可以进行改进;理想的目标是波动为零,减少波动使之为零,是为之努力的目标,但这个目标将永远不能达到,实践者就是在向零波动目标逼近过程中进行连续质量改进的。

(2) 参数设计改进质量。田口的参数设计^[8]是使设计产品稳健的关键技术,参数设计是一个多因素的优选问题,主要运用正交实验设计进行最佳参数的组合,并采用信噪比(S/N 比)作为产品质量特征值的稳定性指标进行统计分析,其核心是两步优化法:首先在噪声因素干扰下,设法减少输出质量特性的波动,实现技术功能或产品性能的稳健性。可以寻找可控因素中的稳定因素,即对 S/N 比有显著影响的因素,选择其最佳水平,使 S/N 比达到最大,得到稳健性最好的最佳

参数水平组合,减少了输出 Y 的波动。然后,在保证稳健性的前提下,调整平均值使其达到设计目标值,这可以寻找可控因素中的可调因素,即对 S/N 比影响不显著但对灵敏度有显著影响的可控因素,对可调因素调整,将 Y 的平均值 μ 调整到设计目标值 T (图3)。因为在许多情况下调整平均值往往是容易实现的。

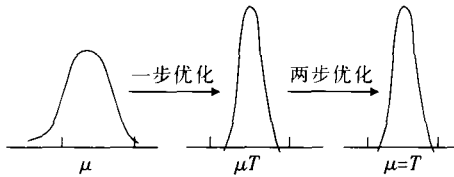


图3 两步优化

由于参数设计方法是使用价格低廉的原材料、元件或零件,在广泛的使用条件下,通过可控因素的最优水平组合来实现减少输出波动的,所以,是一种以低投入获取高质量的质量工程方法。

3 3种方法的比较评价与整合

3.1 SPC与EPC

SPC与EPC起源于不同的工业背景,其基本原理和过程模型也不相同。尽管SPC与EPC经过相当长的发展过程,形成了各自较为完善的理论和方法,但限于质量人员缺乏过程动态和连续控制系统的知识,工程人员缺乏统计的知识,阻碍了二者之间的交流,直到1992年Box和Kramer^[9]在美国计量技术杂志第3期上组织了有关SPC和EPC整合理论及应用的讨论,由此许多学者开始探讨两者在理念、应用背景等方面的不同。综合文献的研究结果,其二者之间的比较如附表所示。

附表 SPC与EPC的比较

	SPC	EPC
起源	零件工业—统计学家开发	过程工业—过程工程师开发
原理	假设检验	估计
目的	减少波动	最小化波动
过程	独立	自相关
功能	过程监测	过程调整
工具	控制图	反馈/前馈控制
成本	高	低
优势	探测可指出原因	直接补偿
缺陷	不能消除所有特殊原因	过度调整掩盖改进信息

在使用上,SPC主要用控制图发现并剔除特殊原因减少波动;而EPC主要使用反馈

控制,对一些无法消除的特殊原因进行补偿以使输出保持在目标值上。因此,SPC可以改进过程性能,但却无法维持过程的稳定性,尤其是过程存在工具磨损或趋势性干扰或自相关时;相对的EPC能维持过程性能,消除自相关,降低过程变异,但却无法消除特殊原因,并可能产生过度补偿的干扰,从而隐藏改进过程的信息;若能有效整合,可以达到互补的作用。

3.2 SPC与田口方法

SPC与田口方法同属质量控制领域改进质量的方法,田口方法属于产品设计阶段的设计质量方法,而SPC是在产品制造阶段的监控质量方法。产品质量首先是设计出来的,其次才是制造出来的,田口方法保证了设计产品质量的稳健性,在制造过程中SPC使产品保持在设计水平上,同时,通过控制图监测波动的大小,提供进一步改进设计质量的信息。因此,二者配合在产品的不同阶段改进质量,以增强企业的质量竞争力。

3.3 田口方法与EPC

田口方法和EPC同属于质量优化方法,EPC通过反馈补偿原理最小化过程的波动,而田口方法通过利用正交实验进行稳健的参数设计,以最小化产品设计参数的波动。传统上,田口方法大多应用在产品设计阶段,但在现代复杂、动态的过程状态下,如果要用EPC对过程进行调整,就要在众多的变量中选择关键变量作为控制变量来设计调整控制器,而田口方法可以作为选择关键变量的有效工具应用于制造阶段,因此,为了有效地调整过程,可以首先应用田口方法选择影响输出的关键过程变量,然后,基于所选择的关键变量设计调整控制器,二者整合同样具有互补的作用。

3.4 3种方法的整合框架

随着科技的进步,多变量、多输入—多输出、自相关和动态的制造环境已经非常普遍,传统的SPC、EPC和田口方法都有必要对其重新认识和评价。Woodall^[10]教授建议要关注波动在整个过程中的转换,这需要更复杂的过程模型以及与更多的工程知识的结合,同时也需要集成质量控制领域的其他质量改进方法在一个框架下。基于对SPC、EPC和田口方法的分析和讨论,在产品制造阶段,为了保证产品的制造质量,一个整合SPC、EPC和田口方法的概念性框架如图4所示。

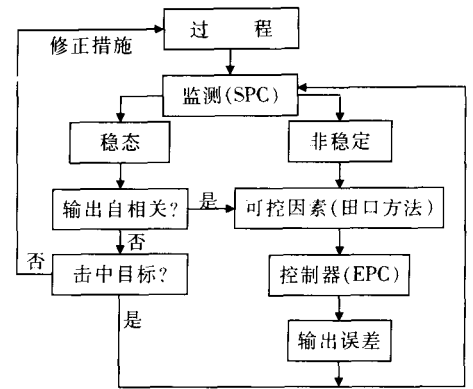


图4 SPC/EPC/田口方法整合概念框架

参考文献:

- [1] Hoerl, H. and Snee, H. The Role of Statistical Thinking in Management [J]. Quality Progress, 1995, 2.
- [2] W. A. Shewhart. Economic Control of Quality Manufactured Product [M]. WI: ASQ Press, Reissue Edition, 1980.
- [3] Page E. S. Cumulative Sum Charts [J]. Technometrics, 1961, 3:1-9.
- [4] Roberts S. W. (1959). Control Chart Tests Based on Geometric Moving Averages [J]. Technometrics 1:239-250.
- [5] Alwan, L. C. and H. V. Roberts. The problem of misplaced control limits [J]. Journal of the Royal Statistical Society, Series C, 1995, 44(3):269-306 [With Discussion and Reply].
- [6] Box G. E. P., Alberto Luceno. Discrete Proportional-Integral Adjustment and Statistical Process Control [J]. Journal of Quality Technology, 1997, 29(3):48-260.
- [7] Robert H. Lochner. Virtues and Defects of Taguchi Methods. Quality Engineering [J]. 1991, 3(4): 537-549.
- [8] Kacker R. Off Line Quality Control, Parameter Design, and the Taguchi Method, Journal of Quality Technology, 1985, 17 (4):176-209.
- [9] Box G. E. P. and Kramer T. Statistical process monitoring and feedback adjustment—A discussion [J]. Technometrics, 1992, 34(3): 251-267.
- [10] William H. Woodall. Controversies and Contradictions in Statistical Process Control. Journal of Quality Technology, 2000, 32(4):341-350.

(责任编辑:汪智勇)



评价与预测

中国科学评价研究中心合办