

【文章编号】 1004-1540(2008)01-0024-05

一种保证预设质量和过程稳态的 SPC 方法

张 宇, 刘明霞, 杨慕升

(山东理工大学 机械工程学院, 山东 淄博 255049)

【摘 要】 提出三种过程质量指数(PQI)的过程质量指数系统, 基于过程质量指数的统计公差提供了一个过程质量要求和控制图设计之间的标准化界面. 通过基于过程质量指数的统计公差带增加对 $\bar{x}-R$ 或 $\bar{x}-s$ 控制图中线的约束, 建立一种保证预设质量和过程稳态的统计过程控制新方法. 这不仅增强了控制图的功能, 也为过程质量规划、统计公差和保证预设质量的 SPC 相关参数的并行设计提供了指导.

【关键词】 统计过程控制; 休哈特控制图; 过程质量指数; 统计公差

【中图分类号】 TG801.802

【文献标识码】 A

An SPC approach for assuring predetermined quality and process stability

ZHANG Yu, LIU Ming-xia, YANG Mu-sheng

(School of Mechanical Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

Abstract: The process quality index (PQI) system was presented based on three PQIs by which the PQI-oriented statistical tolerancing provides a standardized interface between process quality requirements and control chart design. By adding a restriction to the center lines of \bar{x} - R chart or \bar{x} - s chart based on the PQI-oriented statistical tolerance zone, a new SPC approach for assuring both predetermined quality and process stability is presented, which enhances the function of control charts and provides a possibility and guideline to concurrent design for the process quality plan, statistical tolerance and related parameters of SPC to assure designated process quality.

Key words: statistical process control; shewhart control chart; process quality indices; statistical tolerance

传统的常规控制图的主要功能是监控和减小过程变差, 即只是一种对过程稳定性的判别与监控技术. 这种判别与监控和质量目标和质量指标并无直接的关系. 对顾客和市场需求快速响应促进了将并行设计技术应用于产品和制造过程设

计. 过程质量指标、统计过程控制方法、抽样方案和控制图参数设计可以根据历史数据和工艺数据库在产品质量规划阶段并行设计. 因此, 将过程质量评价、过程能力分析、并行设计技术引入制造工艺和统计过程控制规划是很有益的. 为发展一种

【收稿日期】 2007-12-29

【基金项目】 国家自然科学基金资助项目(No. 50175066); 山东省自然科学基金资助项目(No. Y2005F12)

【作者简介】 张 宇(1950-), 男, 安徽太湖人, 教授. 主要研究方向为几何精度设计与质量控制.

面向质量目标的统计过程控制方法,需要在过程质量指标和控制图的参数设计之间建立一种标准化的界面。在本文第二部分介绍了标准化的过程质量指标体系,包括过程合格率、过程对中性和质量损失指标;基于该系统的过程质量设计可以由面向质量目标的统计公差带保证;第三部分将讨论这种标准化的界面;第四部分将讨论通过面向质量目标的统计公差方法而发展的面向质量目标的统计过程控制方法;第五部分将通过案例给出保证预设质量的统计公差和统计过程控制的具体步骤。

1 过程质量指标(PQI)

过程质量评价是过程质量规划和控制的基础,目前实践中有两种方式。

1.1 直接质量指标

早期对于过程质量的要求主要是可接收质量水平(AQL),可接收质量水平是用于验收检验的批不合格或废品率,可被看作符合要求的过程平均^[1]。不合格率一般按百分数表示,随着制造精度的提高,对于过程质量的严格要求,特别是六西格玛质量,也可按照百万分之一(10^{-6})度量。

1.2 过程对中性及其评价

20世纪70年代对于过程对中性的要求被重视,以联邦德国的统计公差(DIN186,1974)为代表。采用此标准,公差带被分成三个区,尺寸落入中间区的频率给出要求。田口玄一博士的质量损失函数代表对于过程质量的新理念并已被世界广泛接受^[2-4]。田口方法强调接近目标值比低的不合格率更重要。所以,对于质量改进,过程对中性比对技术规范的符合性更重要。

1.3 过程能力指数及其存在的问题

过程能力分析广泛应用于评估一个过程是否满足要求。过程能力指数定义为过程满足客户期望的能力。过程能力指数(PCI)是定量评价过程能力的指数,其数值一般应在1.0~2.0范围内。尽管一些专家分析和推荐 C_{pm} 指数^[5,6],当前实践中常用的仍是 C_{pk} 指数。由于绝大多数过程是复杂的,任何单一的数据不可能包容关于过程性能的相关信息。因此,PCI只是间接的过程质量评价,不完全代表过程质量。采用 C_{pk} 和 C_{pm} 指数的

一些不足之处如下:

1) C_{pk} 和 C_{pm} 指数均与不合格率等过程质量要求没有一一对应的关系^[7]。

2)各过程能力指数之间的大小不一致;对于相同的过程每个过程能力指数数值不一,各过程能力指数之间的关系随着过程均值对目标值的偏离而变化。

3)各过程能力指数相对过程均值和潜在过程能力指数 C_p 有不同的变化比率^[8]。

由于一个预期的 C_{pk} 和 C_{pm} 指数有多组对应的过程均值和标准偏差,它不可能被自动转换为过程均值和标准偏差的统计极限。因此, C_{pk} 和 C_{pm} 指数不适于作为用于统计过程控制的控制图的参照值,因为控制图一般同时监控过程偏移和变差。为了定量指导计量型控制图的设计,最好有一个代表预期的过程质量要求并对应于过程均值和标准偏差的二维标准化界面,这就是 C_p-k 平面。

1.4 过程偏移的度量指标之一 k 系数

k 系数的原始定义为过程均值对于目标值的偏移的绝对值 $|\mu - T_g|$ 与质量特性值对其目标值允许的波动范围(即公差值的一半)的比值^[9]。为反映过程均值对于目标值的偏移方向,我们重新定义 k 为矢量形式,如下式所表示:

$$k = \frac{\mu - T_g}{(USL - LSL)/2} \quad (1)$$

式(1)中 T_g 表示过程目标值, μ 表示过程均值,USL和LSL分别表示上、下规格限。

2 面向过程质量指数的统计公差

现行的统计公差模式和表达方式有两个问题需解决:1)选择合适的统计公差的决策依据是什么;2)如何将其作为实际的统计过程控制参数设计的有益参考,如何根据工序质量要求确定统计公差值,如何形成一套可操作的规范。均待做进一步的探索。现行的统计公差标准和技术并没有完全解决这些问题。

作者前期在从事一项美国自然科学基金项目的研究中提出三个过程质量指标均可表示为 C_p 、 k 的函数^[10],即 $f_{P_d}(C_p, k)$, $f_{P_c}(C_p, k)$ 和 $f_{P_q}(C_p, k)$ 。在批量生产且过程受控状态,过程质量指数 P_d 、 P_c 和 P_{qt} 可用 C_p 和 k 表示,如表1。

表1 用 C_p 和 k 表示过程质量指标

Table 1 Process quality indices indicated by C_p and k

PQI	PQI 的名称	以 C_p, k 表示 PQIs
P_d	过程不合格率	$P_d = \{ \Phi[-3C_p(1+k)] + 1 - \Phi[3C_p(1-k)] \} \times 100\%$
P_c	中间区频率	$P_c = \{ \Phi[C_p(1-3k)] - \Phi[-C_p(1+3k)] \} \times 100\%$
P_{σ}	平均质量损失率	$P_{\sigma} = \left[\frac{1}{(3 \cdot C_p)^2} + k^2 \right] \times 100\%$

这一标准化的过程质量指标体系采用优先数系列和等差数列分级,相应的保证这些过程质量指标的统计公差带,即面向质量目标的统计公差带,可由表1中的公式形成。

面向质量目标的统计公差带(QOST)可以二维数组形式表示,即, (C_p^*, k^*) [11]。 (C_p^*, k^*) 是体现对于过程离散程度和位置偏移的有各自要求的以数组形式表现的统计公差,符号“*”表示满足质量目标的 C_p, k 的特定界限值。其涵义为

$$(C_p^*, k^*) \Leftrightarrow \begin{cases} C_p \geq C_p^* \\ |k| \leq k^* \end{cases}$$

$C_p - k$ 平面是一个与过程均值和标准偏差对应的二维标准化界面,便于作为统计过程控制参数设计,特别是常规计量型控制图的参照。

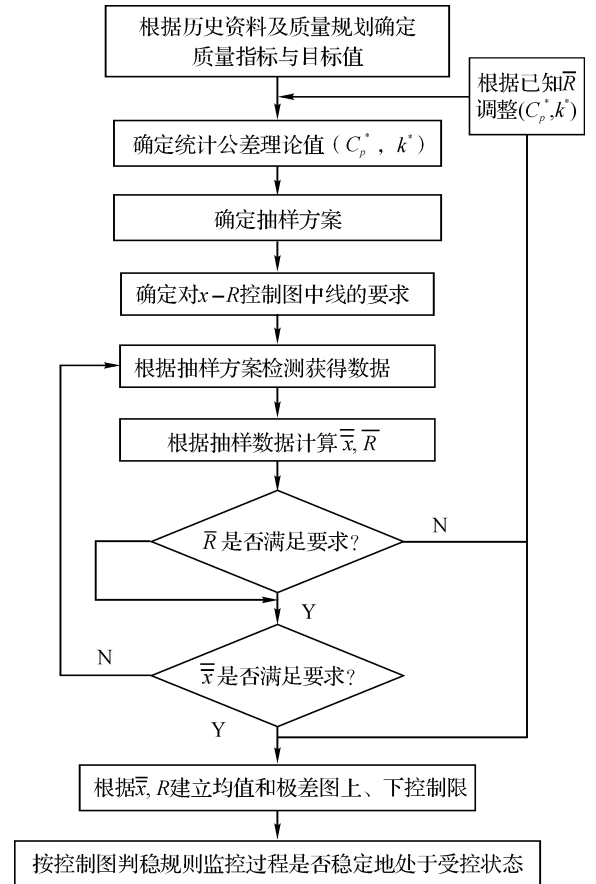
3 面向质量目标的常规计量型控制图

3.1 常规计量型控制图的优点和局限性

常规计量型控制图是广泛用于制造业的统计过程控制工具, $\bar{x} - R$ 和 $\bar{x} - s$ 控制图是典型具有双侧极限的常规控制图。但是,他们的应用有一定局限性。

1) \bar{x} 控制图对小偏移不敏感。如果过程偏移不大于 1.5σ , 采用 \bar{x} 控制图不特别有效。因此, \bar{x} 控制图对小偏移不是很有有效的统计过程控制工具。

2) 目前基于控制图的过程控制方法实际上是“统计过程监控”。采用控制图的目的是监控过程对于符合预期要求的稳态的偏离。它是一个探测方法。对于探测出的过程变化的改正措施并未说明。仅采用控制图并不能保证过程质量。所以,常规计量型控制图还不是面向质量目标的统计过程控制工具。



对应于 \bar{R} 和 \bar{x} 不同状态的相对措施				
\bar{R}	Y	Y	N	N
\bar{x}	Y	N	Y	N
相对措施	根据 \bar{R} 和 \bar{x} 建立 $\bar{x} - R$ 控制图的上、下控制限	向目标值方向调整	根据已知 \bar{R} 分析原因采取改进措施;若质量指标给定不合适,调整质量指标 (C_p^*, k^*)	根据已知 \bar{R} 分析原因采取改进措施;若质量指标给定不合适,调整质量指标 (C_p^*, k^*)

图1 基于过程质量指标的 $\bar{x} - R$ 控制图的设计程序框图
Figure 1 Flow chart of PQI-based $\bar{x} - R$ control chart

3.2 保证预期过程质量指数的对控制图中线的约束区

为建立一个面向质量目标的统计过程控制方法,需要建立一个过程质量指标和控制图设计之间的标准化界面。面向质量目标的统计公差可以用二维数组形式表示,即, (C_p^*, k^*) 。

它对于面向质量目标的 $\bar{x} - R$ 控制图的指导作用实际上就是确定允许均值控制中线和极差(或标准差)控制中线的位置偏移范围。而这两个中线均是来自处于稳态的过程质量特性值数据

得到.理论上,当采用 $\bar{x} - R$ 和 $\bar{x} - s$ 控制图保证过程处于稳定受控状态并满足预期的质量目标,应满足由以下一组联立公式代表的约束条件.

对 $\bar{x} - R$ 控制图,

$$\begin{cases} T_g - 0.5k^* \cdot (USL - LSL) \leq \bar{\bar{x}}(CL) \leq T_g + 0.5k^* \cdot (USL - LSL) \\ \bar{R}(CL) \leq d_2 \frac{USL - LSL}{6 \cdot C_p^*} \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中 d_2 是和样本大小相关的系数, C_p^* 和 k^* 一组基于一个或两个过程质量指标的面向质量目标的统计公差.

对 $\bar{x} - s$ 控制图,

$$\begin{cases} T_g - 0.5k^* \cdot (USL - LSL) \leq \bar{\bar{x}}(CL) \leq T_g + 0.5k^* \cdot (USL - LSL) \\ \bar{s}(CL) \leq c_4 \frac{USL - LSL}{6 \cdot C_p^*} \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中, c_4 是和样本大小相关的系数.

3.3 基于过程质量指标的 $\bar{x} - R$ 控制图设计程序框图

面向质量目标的统计过程控制方法是利用对 $\bar{x} - R$ 和 $\bar{x} - s$ 控制图中线的约束条件加以实现.图 1 给出基于过程质量指标的 $\bar{x} - R$ 控制图设计程序框图.对 \bar{R} 和 $\bar{\bar{x}}$ 的判别是基于公式 2.对基于过程质量指标的 $\bar{x} - s$ 控制图的设计也是类似步骤.

4 案例:保证预期的质量目标的统计公差和统计过程控制设计

已知轴的公差为: $\varphi 32k5 \left(\begin{smallmatrix} +0.013 \\ +0.002 \end{smallmatrix} \right)$,最后精磨工序的质量要求为:过程不合格率 $P_d \leq 0.2\%$,中间区频率 $P_C \geq 65\%$.过程能力的历史数据是: $C_p = 1.2$.详细步骤如下.

1) 根据质量要求确定过程质量指标:

选择 $P_d \leq 0.2\%$, $P_C \geq 65\%$ 用以保证过程合格率及对中性.

2) 确定面向质量目标的统计公差(C_p^*, k^*):

根据已知 $C_p = 1.2$, 确定保证 $P_d \leq 0.2\%$, $P_C \geq 65\%$ 的统计公差(C_p^*, k^*) = (1.2, 0.2).

3) 确定建立 $\bar{x} - R$ 控制图的抽样方案:

选择样本大小 $n = 5$, 样本个数 $m = 20$, 总测量数据 $N = mn = 100$.

4) 确定对 $\bar{x} - R$ 控制图中线的要求:

由于面向质量目标的统计公差为(C_p^*, k^*) = (1.2, 0.2), 即

$$(C_p^*, k^*) \Leftrightarrow \begin{cases} C_p \geq C_p^* \\ |k| \leq k^* \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} C_p \geq 1.2 \\ |k| \leq 0.2 \end{cases}$$

所以,根据公式 2 对 $\bar{x} - R$ 控制图中线的统计公差带得到以下约束条件:

$$\begin{cases} 32.0064 \leq \bar{\bar{x}}(CL) \leq 32.0086 \\ \bar{R}(CL) \leq 0.00355 \end{cases}$$

5) 根据抽样方案检测获得数据:

抽取 20 个样本,样本大小为 5,表 2 给出各样本的均值和极差.

表 2 各样本的均值和极差

Table 2 Averages and ranges of each sample

\bar{x}_i	R_i	\bar{x}_i	R_i	\bar{x}_i	R_i
32.006 48	0.002 26	32.006 58	0.005 004	32.006 97	0.004 726
32.006 76	0.003 598	32.007 62	0.002 631	32.006 87	0.004 971
32.007 07	0.001 097	32.007 44	0.001 524	32.005 7	0.005 295
32.006 41	0.001 649	32.005 75	0.005 171	32.006 64	0.003 108
32.007 58	0.002 407	32.005 79	0.001 43	32.007 51	0.004 518
32.006 19	0.003 947	32.007 07	0.002 197	32.006 45	0.004 172
32.006 33	0.002 434	32.007 23	0.004 225		

6) 根据抽样数据计算 $\bar{\bar{x}}$ 和 \bar{R} :

$$\bar{\bar{x}} = \sum_{i=1}^{20} \bar{x}_i / 20 = 32.0067,$$

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^{20} R_i / 20 = 0.00332.$$

7) 判断 $\bar{x} - R$ 控制图中线 $\bar{\bar{x}}$ 和 \bar{R} 是否满足保证给定过程质量指标的统计公差:

由于 $\bar{\bar{x}} = 32.0067$ 在 \bar{x} 控制图中线统计公差上、下限内, $\bar{R} = 0.00332$ 在 R 控制图中线统计公差上、下限内,所以,满足保证给定过程质量指

标的统计公差.

8) 根据 $\bar{\bar{x}}, \bar{R}$ 建立均值和极差图上、下控制限:

\bar{x} 控制图的上、下控制限

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} = 32.0067 + 0.58 * 0.00332 = 32.0067 + 0.0019 = 32.0086,$$

$$CL = \bar{\bar{x}} = 32.0067,$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} = 32.0067 - 0.0019 = 32.0048,$$

R 控制图的上、下控制限

$$CL = \bar{R} = 0.00332,$$

$$UCL = D_4 \bar{R} = 2.115 * 0.00332 = 0.007,$$

$$LCL = D_3 \bar{R} = 0 * 0.00332 = 0.$$

这种面向质量目标的统计公差和 SPC 设计能够保证过程维持稳态的同时满足预设质量指标. 如果, 对预设质量指标的保证要求一个预期的 $(1 - \alpha)\%$ 置信水平, 可采用基于本方法的稍复杂的程序实现^[12].

5 结 语

1) 过程质量指标体系可以直接在过程质量计划中应用, 用以测量、评价、保证过程的合格率、对中性以及平均质量损失水平.

2) 面向质量目标的统计公差和在二维平面的统计公差带是过程质量指标和统计过程控制的标准化界面.

3) 要经济地保证过程的合格率和对中性, 面向过程质量指标的统计公差带优于面向过程能力指数的统计公差带.

4) 面向质量目标的统计公差方法可用于对 $\bar{x} - R$ 和 $\bar{x} - s$ 控制图中线的限定, 通过这种统计公差保证预设质量指标, 而过程的维持稳态则由控制图的功能实现.

【参 考 文 献】

- [1] ASQC STATISTICS DIVISION. Glossary and tables for statistical quality control[M]. 3 Ed. USA: ASQC Quality Press, 1996: 9-38.
- [2] TAGUCHI G, WU Y. Introduction to off-line quality control[M]. Japan: Japan Quality Control Association, 1980: 30-65.
- [3] TAGUCHI G, PHADKE M S. Quantity engineering through design optimization[J]. Proceedings of the National Electronics Conference, Rosemont, IL, USA, Professional Education Int Inc, 1986, 40: 32-39.
- [4] TAGUCHI G. Introduction to quality engineering, asian productivity organization [M]. New York: UNIPUB, White Plains, 1986: 42-76.
- [5] CHAN L K, CHENG S, SPIRING F A. A new measure of process capability: C_{pm} [J]. Journal of Quality Technology, 1988, 20(2): 162-175.
- [6] BOYLES R A. The taguchi capability index[J]. Journal of Quality Technology, 1991, 23(1): 17-26.
- [7] KAMINSKY F C, DOVICH R A, BURKE R J. Process capability indices: Now and in the future[J]. Quality Engineering, 1998, 10(3): 445-453.
- [8] ZHANG B, NI J. Relative probability index Crp: an alternative process capability index[J]. Quality Engineering, 2001, 14(2): 267-278.
- [9] KANE V E. Process capability indices[J]. Journal of Quality Technology, 1986, 18(1): 45-46.
- [10] ZHANG Y, LOW Y S, FANG X D. PCI-based tolerance as an interface between design specifications and statistical quality control[J]. Computer & Industrial Engineering, 1998, 35(1): 201-204.
- [11] 张 宇. 面向质量目标的统计公差的表达方式及应用分析[J]. 中国机械工程, 2006, 17(24): 2595-2599.
- [12] ZHANG Y, YANG M S, LIU M X. Assuring process quality with a preset confidence probability via quality-oriented statistical tolerancing[C]//IEEE International Conference on Engineering. Shanghai: Services and Knowledge Management, 2007: 5252-5255.