

# 基于统计过程控制技术的钢卷质量控制<sup>①</sup>

陈 弦

(上海宝信软件股份有限公司 商务智能软件事业部, 上海 201901)

**摘 要:** 统计过程控制(Statistical Process Control, SPC)是生产过程质量控制的重要工具, 包括过程监控、过程诊断与改进等一系列活动. 详细阐述了此技术在钢卷质量控制方面的应用流程, 并通过实例重点介绍了控制图在钢卷质量分析与控制中的应用. 系统采集钢卷工艺数据, 选择控制图对工艺参数进行监控, 计算和分析工序的工序能力指数. 发现工序失控时, 分析原因并及时采取纠正预防措施, 保证工艺的一致性和稳定性, 提高工艺成品率.

**关键词:** 统计过程控制; 控制图; 质量管理

## SPC to the Quality Management in Processing Coil

CHEN Xian

(BI Department, Shanghai Baosight Software Co. Ltd, Shanghai 201901, China)

**Abstract:** Statistical Process Control (SPC) is an important tool for quality control in manufacturing process, which includes a series of activities such as process monitoring, process diagnosing and improving etc. In this paper the technique of statistical process control is used in the quality management of steel coil. Through a case the application of Per-defect Control Chart is introduced to prove the practicability of SPC method in the steel coil quality analysis and control. First the system samples the technological data, then uses the quantity to control chart. The system not only monitors the technological data but also calculates and analysis the process capability index, monitors the technological data. When the process get out of hand, by analyzing the reasons and taking timely corrective and preventive action, we can ensure process consistency and stability, improve the process yield.

**Key words:** statistical process control; control chart; quality management

统计过程控制(Statistics Process Control, SPC)技术是统计质量控制的重要工具之一. 它运用数理统计的方法, 对过程进行监控, 对生产过程进行分析评价, 根据反馈信息及时发现特殊原因出现的征兆, 并采取消除其影响, 使过程维持在仅受普通原因影响的受控状态, 从而达到改进、保证产品质量的目的. 统计过程控制是应用于企业质量管理最为有效的方法和工具, 六西格玛的核心工具之一. 要把 SPC 的技术应用于生产过程, 需要经过以下环节: 确定生产过程的关键质量特性; 数据的采集; 根据分布特性, 确定与选择合适的控制图对生产过程进行监控; 过程分析与连续改进. 以上任何一个环节处理不当都会导致统计质

量控制技术的失败或低效<sup>[1]</sup>.

在我国, 已有越来越多的企业开始把 SPC 作为质量管理的重要内容, 但由于企业基础管理、认识层次、理论知识及方便有效的 SPC 工具等诸方面的问题, 导致了目前的应用基本都是停留在初期探索阶段. 因此, 将 SPC 理论与计算机技术相结合, 对发挥 SPC 在质量管理中的作用, 推广国内 SPC 应用具有重要的现实意义. 作者自行开发了统计过程控制 SPC 系统基于 B/S 结构, 与企业控制系统网进行无缝连接, 使控制系统中的生产数据能及时地以图表的形式展示出来. 系统包括了质量数据采集、统计分析及图形显示、质量数据的维护、存储等内容. 系统实现了生产现场 SPC 数据

<sup>①</sup> 收稿时间:2013-11-08;收到修改稿时间:2014-01-03

的自动采集与处理,对关键变量(KIV/KOV)及中间过程进行统计控制,实现全过程、全工序的统计控制,保证生产过程稳定受控,实现预防为主的管理,减少产品和过程的变差,实现产品质量的持续改进,提升用户满意度.本文着重探讨SPC技术在钢卷质量控制方面的应用问题.

## 1 统计过程控制的基本原理

当过程仅受随机因素影响时,过程处于统计控制状态;当过程中存在系统因素的影响时,过程处于统计失控状态.由于过程波动具有统计规律性,当过程受控时,过程特性一般服从稳定的随机分布;而过程失控时,过程特性的分布将发生改变.SPC正是利用过程波动的统计规律性对过程进行分析控制的,因而它强调过程在受控和有能力的状态下运行.SPC质量控制的基本元素是控制图,它对过程质量特性值进行测定和记录,该图还能反映是否存在质量波动.控制图通过对过程状态的监控,对过程质量特性值进行测定、记录、评估,从而监察过程是否处于控制状态.

控制图由正态分布演变而来.正态分布可用两个参数即均值 $\mu$ 和标准差 $\sigma$ 来决定.正态分布有一个结论对质量管理很有用,即无论均值 $\mu$ 和标准差 $\sigma$ 取何值,产品质量特性值落 $\mu\pm 3\sigma$ 之间的概率为99.73%,落在 $\mu\pm 3\sigma$ 之外的概率为 $100\%-99.73\%=0.27\%$ ,而超过一侧,即大于 $\mu+3\sigma$ 或小于 $\mu-3\sigma$ 的概率为 $0.27\%/2=0.135\%\approx 1\%$ ,根据小概率事件原理(即小概率的事件一般不会发生),在生产过程正常情况下,质量特性值是不会超过控制界限的,如果超出,则认为生产过程发生异常变化.休哈特就根据这一事实提出了控制图,如图1所示.由于上下的数值大小不合常规,再把分布图上下翻转 $180^\circ$ ,这样就得到一个单值控制图,称 $\mu+3\sigma$ 为上控制限,记为UCL,称 $\mu$ 为中心线,记为CL,称 $\mu-3\sigma$ 为下控制限,记为LCL,这三者统称为控制线.规定中心线用实线绘制,上下控制线用虚线绘制.

综合上述,控制图是对过程质量数据测定、记录从而进行质量管理的一种用科学方法设计的图.他是在平面直角坐标系中,做出三条平行于横轴的线段而形成的.其中,纵坐标表示需要控制的质量特性;横坐标表示按系统取样方式得到的编号.图上的三条横线是中心线(CL)、上控制限(UCL)和下控制限(LCL),在控制时通过抽样检验、测量质量特性数据,用点描

在图上相应的位置,将这些点连接起来,就得到一条反映质量特性值波动状况的折线.通过分析折线的形状和变化趋势,以及折线和三条控制线的相互关系,得到工艺过程的状况<sup>[2]</sup>.

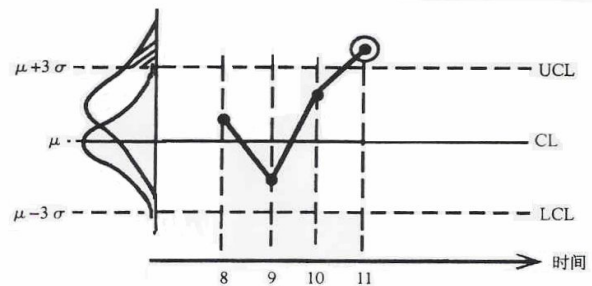


图1 示意图

在生产过程中通过分析休哈特控制图来判定生产过程是否处于稳定状态.图中的上下控制界限是判断工序是否失控的主要依据.休哈特控制图的设计思想是先确定第I类错误的概率 $\alpha$ ,再根据第II类错误的概率 $\beta$ 的大小来考虑是否需要采取必要的措施.通常 $\alpha$ 取为1%,5%,10%.为了增加使用者的信心,休哈特将 $\alpha$ 取得特别小,小到 $2.7\%\sim 3\%$ .这样, $\alpha$ 小, $\beta$ 就大,为了减少第II类错误,对于控制图中的界内点增添了第II类判异准则,即“界内点排列不随机判异”,包括以下几条:

- (1) 1点落在A区以外;
- (2) 连续9点落在中心线同一侧;
- (3) 连续6点递增或递减;
- (4) 连续14点中相邻点交替上下;
- (5) 连续3点中有2点落在中心线同一侧的B区外;
- (6) 连续5点中有4点落在中心线同一侧的C区外;
- (7) 连续15点落在中心线两侧的C区内;
- (8) 连续8点落在中心线两侧且无一在C区内;

## 2 SPC技术的应用流程

企业采用SPC技术进行质量管理,如果只是用手工或者EXCEL等专业的统计软件来实现只能起到事后分析的作用,为企业能带来的效益也是很小的,因为真正SPC的核心理念并不在此,而在于“事前预防”.作者实施的这套质量过程控制系统通过从生产线上直接读取质量数据进行计算,自动生成坐标系,绘制包括休哈特控制图、通用控制图及质量管理图灯各种控

制、管理图形,同时计算工序能力的代表值,  $C_{pk}$ 、 $P_{pk}$ 、平均值、级差、标准差等,进而对工序中任何需要分析的控制点进行系统而高效地分析,对产品的随机波动与异常波动进行区分,灵活、准确的自动判异功能可以帮助用户及时采取措施,消除异常,恢复过程的稳定,达到改进与保证质量的目的.本质量过程控制系统开发的 SPC 分析工具包括:常规控制图(均值-极差图、均值-标准差图、单值-移动极差图等)<sup>[3]</sup>,质量管理图(直方图、泊拉图、散点图、趋势图、符合性图等).SPC 技术的具体应用流程主要包括数据处理、控制图绘制和质量诊断三大部分.其中控制图的绘制要经过相关参数设置、数据统计与分析、绘出控制图三个步骤.

为了能及时有效的反映生产过程的真实情况,应对生产工艺的现场质量信息进行统计与分析.首先,通过网络系统对生产过程进行在线实时监控,实时采集质量数据;然后把数据排序分组,做排列图或直方图,分析数据中对质量影响最大的部分,以便进一步对这些数据进行深层次的分析——控制图分析法<sup>[4]</sup>.

控制图分析法的主要步骤如下:

#### 1、收集数据

建立一个抽样计划—子组容量、子组频率、子组数量、抽样方案;在记录原始数据的同时计算样本的控制统计量,并将控制统计量画到控制图上;

#### 2、建立控制限

根据公式确定控制图的中心线、控制限;

#### 3、计算过程能力

过程能力是指过程的加工质量满足技术标准的能力,它是衡量过程加工内在一一致性的.过程能力决定于质量因素,即人、机、料、法、环,而与规范无关.过程能力指数分为无偏移双侧情形的短期过程能力指数,有偏移情形的短期过程能力指数等.过程能力指数的计算可分为:无偏移双侧规范情况的短期过程能力指数,当分布中心与公差中心重合时,可直接利用  $C_p$  值的定义进行计算:

$$C_{pk} = \frac{T}{6\sigma} \approx \frac{T_U - T_L}{6\hat{\sigma}}$$

有偏移情形的短期过程能力指数:定义分布中心  $\mu$  与规范中心  $M$  的偏移度为:  $\varepsilon = |M - \mu|$ , 以及  $\mu$  与  $M$  的偏移度  $K$  为:

$$K = \frac{\varepsilon}{T/2} = \frac{2\varepsilon}{T}$$

过程能力指数修正为:

$$C_{pk} = (1-K)C_p = (1-K) \frac{T}{6\sigma}$$

4、根据判稳准则和判异准则判断,如果满足以上两准则,就可将分析用控制图的控制线延长作为控制图用控制图.

#### 5、质量诊断

应用控制图对生产过程不断监控,当异常因素刚一露出苗头,在未造成不合格品之前就能及时发现.例如,在控制图中显示点有逐渐上升的趋势,可以在这种趋势造成不合格品之前就采取措施加以消除,起到预防的作用.在现场,更多的情况是控制图显示异常,表明异因已经发生,这时要贯彻“查出异因,采取措施,保证消除,不再出现,纳入标准”原则,每贯彻一次这个原则(即经过一次这样的循环)就消除一个异因,使它永不再出现,从而起到预防的作用<sup>[5]</sup>.

### 3 SPC技术在钢卷质量控制中的应用实例

某钢铁企业在钢卷实际生产状况中应用 SPC 方法进行生产过程质量状况的分析与控制.图 2 是运用在钢卷生产实际中控制图分析的功能流程:

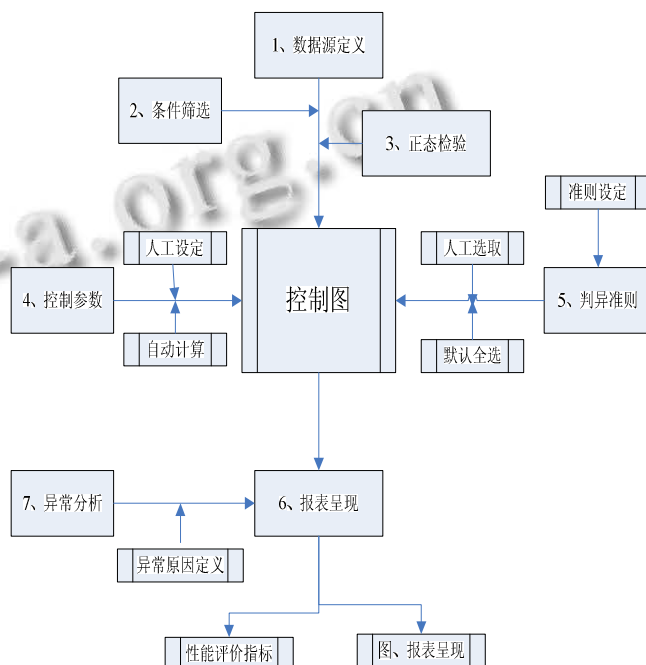


图 2 控制图分析功能流程

- 1)控制图的显示,图中包括异常情况的警示;
- 2)控制图数据的详细列表显示;

3)异常数据的显示,可以对异常原因、改善措施进行输入并保存;

4)计算各种控制参数(上限、下限、均值、CPK 等),可以修改并保存;

5)正态分布图的显示,并从统计的角度进行正态性检验.

图 3 是控制图分析运用在钢卷生产实际中的实例.实例中我们选用的是单值-移动极差控制图.本例中为同一批原料在同一班组生产出的产品.过程初始研究时,通常是连续进行分组或在很短的时间间隔内进行分组,以便检查过程在很短的时间间隔内是否有其它不稳定的因素存在.当证明过程稳定时,子组间的时间间隔可以增加.本例中子组频率为一个卷一次.20 或更多个子组可以很好地用来检测稳定性.下图是某钢卷生产中测得的 20 个工艺参数样本数据:

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
时间	20090812149212	20090812140446	20090812141054	20090812141550	20090812142204	20090812143018	20090812143415	20090812144017	20090812144611	20090812145211
热卷号	9427070400	9427074800	9427074700	9425370300	9425370400	9427074600	9340253200	9340253200	9340253300	9340253200
冷卷号	2353080200	2353080420	2353080500	2353080600	2353080700	2353080800	2353080900	2353081000	2353082000	2353085300
单值	84.324	81.992	82.218	83.257	84.183	83.913	83.976	83.916	83.975	84.060
移动极差	0.00	2.338	0.226	1.109	0.926	0.270	0.063	0.060	0.059	0.085

序号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
时间	20090812145812	20090812150416	20090812151044	20090812151841	20090812152351	20090812153018	20090812153818	20090812154322	20090812154959	20090812155611
热卷号	9339050300	9339050400	9340151700	9340151800	9340151500	9340151400	9340151400	9340253200	9340253000	9340253100
冷卷号	2353085400	2353085500	2353085600	2353085700	2353085800	2353085900	2353086000	2353086100	2353086200	123456789
单值	83.892	83.386	81.602	82.227	84.099	83.864	83.947	83.515	84.232	83.864
移动极差	0.120	0.046	2.294	0.624	1.373	0.235	0.082	0.432	0.717	0.368

图 3 钢卷某工艺参数质量信息

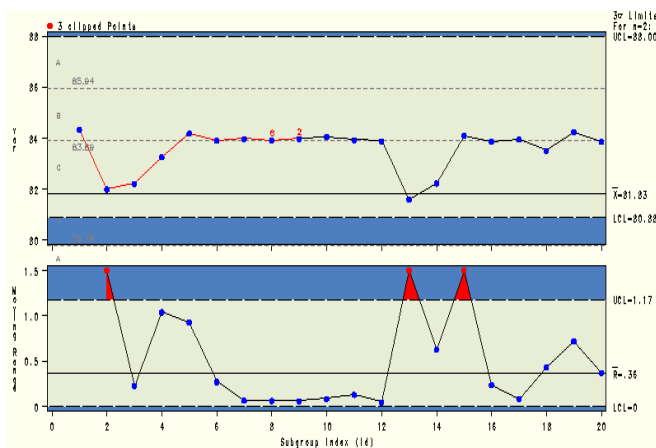


图 4 单值移动极差控制图

按照 SPC 的分析方法进行绘图: 纵坐标表示需要控制的质量特性, 横坐标表示时间序列的坐标系. 在

图上绘出中心线 CL, 然后根据如下公式计算控制界限:  $UCL = \mu + 3\sigma$   $LCL = \mu - 3\sigma$  并在图的相应位置上描出各样本 UCL 及 LCL 的点, 用虚线相连. 在控制时测量质量特性数据, 用 值的点描在图上相应的位置, 便得到一系列坐标点, 将这些点连接起来, 就得到一条反映质量特性值波动状况的折线, 如图 4.

用控制图判别准则对 X-Rs 控制图进行分析, 发现 X 图和 Rs 图的点子均存在异常现象. 比如符合 1 点落在 A 区以外的判异准则; 连续 9 点落在中心线同一侧的判异准则以及连续 5 点中有 4 点落在中心线同一侧的 C 区以外的判异准则, 表明点子排列不随机, 存在异常因素. 当进行数据分析时, 系统对发生异常的数据点将标注为异常颜色或异常区域, 异常点会自动显示违反的判异准则, 点击异常点时, 能够查看当前异常点相关的数据, 并且能够处理当前异常点发生异常的原因, 异常处理方式等信息. 异常点处理后, 通过绘制排列图或者饼图, 对当前工艺变量异常出现的原因进行统计分析, 根据异常原因分布, 重点处理出现频率较高的异常现象, 稳定生产过程.

系统提供两种控制限设定方式: 手动和计算, 适合不同层次用户的使用. 其中“计算”控制限类型根据样本数据自动计算出一套控制限, 为用户设置控制限提供指导.

当  $1.33 < Cpk \leq 1.67$  时, 表明过程能力充足, 是一种理想状态. 当  $1.00 < Cpk \leq 1.33$  时, 表明过程能力尚可, 应该注意控制, 防止发生大的波动; 在  $Cpk$  值接近 1.00 时, 出不合格产品的可能性增大, 此时应加强对生产线检查和产出品进行抽样检验. 当  $Cpk \leq 1.00$ , 过程能力不足, 应分析原因并采取必要的措施<sup>[5]</sup>. 本例中的  $Cpk$  接近 1.33, 说明过程能力充足.

#### 4 应用效果

统计过程控制系统的开发成功与实际应用, 为有效地实施质量统计过程控制打下了坚实的基础, 为实现过程稳定控制、减少变差和持续改进产品质量提供了有效的方法, 在质量管理中切实起到了数据、监控、应用、共享平台的作用.

1)SPC 统计分析模式使数据分析处理趋于规范化. 自动采集、计算、统计分析数据, 减少人为误差, 使质量数据直观展现出来, 提高检测效率和准确率, 节约了企业成本.

2)系统选取质量数据采集完善的控制点作为试点,通过产品质量波动监控分析,逐步建立关键过程能力评估体系.通过控制图的趋势及时判断过程的稳定性,可避免批量废品的产生,降低生产成本.

3)重要完整的生产过程信息使对质量问题的分析更加便捷,发现和反馈质量问题的速度提高,节约时间成本.

4)熟练运用 SPC 进行数据分析和处理,有利于确定标准、形成规范等,从而使生产达到最佳状态,最终提高了钢卷的质量,创造更显著的经济效益.

## 5 结语

企业要想加入全球的产业链中,就必须按照国际统一的质量管理标准和方法进行质量管理,SPC 正是这样一种有效的质量管理工具<sup>[6]</sup>.通过对过程质量进行动态、连续的监控,不断地分析质量问题中的各种影响因素,并进行针对性预防,达到了持续改进的目的.作者在某钢铁企业中成功地实施了一套由计算机系统支持的 SPC 系统,系统主要是对机组级的生产过

程数据进行采集、统计分析,在质量控制中起到极好的警示和预防作用,从而为提高产品质量、降低生产成本起到事半功倍的效果,为企业带来丰厚的利润.

## 参考文献

- 1 李颖.基于 SPC 技术的企业级质量管理体系.现代计算机,2010,6:153-156.
- 2 何军,方凤青.基于控制图和 Minitab 软件的某公司 SPC 应用研究.大众科技,2011,11:31-34.
- 3 路春光,孟丽丽,王振中,张光辉.统计过程控制 SPC 系统的设计与实现.组合机床与自动化加工技术,2010,1:108-112.
- 4 蔺志峰.炼钢电炉基于 SPC 的质量管理系统设计.计算机与现代化,2010,7:177-179.
- 5 崔波.统计过程控制技术在键合工序中的应用.半导体技术,2009,8:775-779.
- 6 曹丹阳,李晋宏,王绍鹏,赵志强.统计过程控制在铝电解生产中的应用研究.冶金自动化,2010,34(6):20-24.