SPC技术在我国钢铁企业的应用

贺景春

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章介绍了SPC技术的概念、方法,综述了SPC技术在我国钢铁企业的应用现状,提出了钢铁生产过程SPC在线质量监控系统的构成要素及发展方向。

关键词: 统计过程控制; 在线质量监控; 钢铁; 智能制造

中图分类号: TF54 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2018)06-0001-06

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.06.001

Applications of SPC Technology in Iron and Steel Enterprises of China

He Jing-chun

(*Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, the concept and methods of statistical process control (SPC) technology are introduced, the present situations for applications of SPC technology in iron and steel enterprises of China are summarized as well as the composing elements and development directions of SPC online quality control system in the production process of iron and steel are proposed.

Key words: statistical process control; online quality control; iron and steel; intelligent manufacturing

产品结构的合理性、生产工艺的先进性、能源环保的可持续性和质量过程的可控性是今后钢铁企业间竞争的四个关键要素,其背后是人才积累的广度和厚度的比拼。对于一个钢铁企业而言,在其产品结构、生产工艺、能源环保和人力资源等要素一定的情况下,质量管控的能力和水平是企业生存发展和取得竞争优势的关键所在。这就对质量管理提出了更高的要求,需要将质量管理从对结果的评价提前到对过程的管控,其中先进的质量管控技术和信息化手段是必不可少的。国际上通行的质量管理技术SPC(Statistical Process Control,中文名"统计过程控制"),正在受到越来越多的制造业企业的重视和运用,收到了降低废品率、提高合格率的效果。SPC作为全面推行ISO9000质量标准体系和六西格玛管理的重要基础工具,在我国钢铁企业正处于应用探索阶段,虽然取得了有益的效果,但其应用潜力还需要深入挖掘。

1 统计过程控制(SPC)技术

统计过程控制(简称SPC)是一种借助数理统计方法的过程控制工具。它对生产过程进行分析评价,根据反馈信息及时发现系统性异常出现的征兆,并采取措施消除其影响,使过程维持在仅受随机性因素影响的受控状态,以达到控制质量的目的。

1.1 过程波动与受控状态

过程波动具有统计规律性,当过程仅受随机因

收稿日期: 2018-10-18

作者简介: 贺景春(1968-),男,内蒙古包头市人,正高级工程师,包头钢铁(集团)有限责任公司金属材料专业技术专家,主要从事无缝钢管技术创新工作。

素影响时，过程波动特性一般服从稳定的正态分布，过程处于统计控制状态（简称受控状态）；当过程中存在系统因素的影响时，过程波动分布将偏离正态分布，过程处于统计失控状态（简称失控状态）。SPC正是利用过程波动的统计规律性对过程加以分析、改进和控制的。因而，它强调过程在受控和有能力的状态下运行，从而使产品和服务稳定地满足顾客的要求。

1.2 参数、指标及过程的有效性

参数（也称为输入变量或者原因变量）是对过程状态的描述，指标（也称为输出变量或者结果变量）是对过程结果的表征。所有过程参数的传递和累计决定了过程的结果。输出价值大于输入价值的过程是有效过程。过程参数受控，过程的结果指标才能受控。因此，过程受控是过程有效性的根本保障。

1.3 实施SPC的步骤

1.3.1 关键变量的选取

对于无缝钢管生产而言，其强度、壁厚、椭圆度只能在无缝钢管生产出来以后通过检验和测量获得，那么强度、壁厚、椭圆度就是无缝钢管的指标。根据用户满意原则，凡标准要求或用户关注的指标都是关键指标（KOV，Key Output Variation），都应该作为SPC的重点监控对象。无缝钢管的强度受碳含量、终轧温度等过程参数的影响，所以为了控制无缝钢管的强度，只要在生产过程中控制好碳含量、终轧温度等过程参数即可。对于无缝钢管的强度而言，碳含量、终轧温度就是其关键参数（KIV，Key Input Variation）。凡直接影响关键指标的过程参数，都是关键参数，都应该作为SPC过程监控的重点对象。

SPC监控变量的选择应遵循以下原则[1]：

（1）关键的少数原则（经济型原则）；

（2）控制KIV为主的原则（预防为主原则）；

（3）选择容易测量的变量原则（可测量原则）。

正确地选择控制变量是有效使用SPC技术的前提，对过程质量监控的实施是十分重要的。各个企业千差万别，一个企业的生产或服务的过程众多，SPC监控变量的选择没有统一的标准，只能根据有关的准则，由技术、质量管理人员根据企业、过程特点灵活确定。

1.3.2 数据收集

控制图是SPC过程监控的基础工具，收集足够量的有效数据（以往生产中产生的SPC监控变量的数据）是绘制控制图的基础。因此，为了有效实施SPC，在收集数据前企业应该具备以下基本条件[2]：

（1）企业的基础管理工作应当比较扎实，企业内部具有正常的管理秩序。包括：健全的管理制度（质量手册、体系文件、标准、工艺、规程、规章制度）、完整的质量记录（对发生的各种质量问题均能通过质量记录及时追溯到发生源和责任者）。

（2）企业应有比较稳定的生产过程。企业的生产过程稳定，主要表现在影响生产的各方面因素（如人、机、料、法、环、测等）经过充分的标准化。实现标准化作业：各方面因素经科学验证，制定出优化的规程。实现作业标准化：各类人员坚决执行优化的规程，关键工序的工艺执行率达到100%。

（3）有关统计技术方面的培训充分。企业应有计划、系统地安排各类职工接受有关统计技术的分层培训教育。

（4）具有统计技术应用所需要的技术和资源条件。如精度足够的测量装置、印制规范的质量记录表格、电脑、网络等。

数据的数量以能够做出有效的分布图为准，可以参阅统计学相关知识。

1.3.3 绘制控制图

当过程受控时，过程的波动由众多偶然因素叠加而成，根据统计学的中心极限定理，反映质量特性的变量值服从正态分布。根据正态分布原理，一个服从正态分布的随机变量取值超过其分布的3倍标准差（$\pm 3\sigma$）之外的概率为0.27%，属于小概率事件。按照小概率事件不发生原理，在有限次数的重复过程中，过程某个变量的取值超出其分布的3倍标准差（$\pm 3\sigma$）之外，就有理由认为过程发生了异常。这就是控制图预警过程失控的原理。常见的控制图结构如图1所示，具有以下特征[2]。

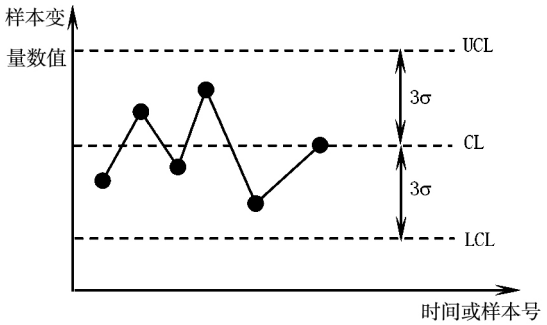


图1 控制图的示例图

(1) 以变量的数据均值为控制中心线;

(2) 以中心线 ($\pm 3\sigma$) 为控制图的上下控制限;

(3) 以抽样的时间顺序或样本号为控制图的横坐标;

(4) 以变量值的单位为控制图的纵坐标。

中心线(Central Line,CL) 是控制图的中心,通常过程存在中心漂移现象,所以允许中心线与变量目标值有小的差异。

上控制限用 UCL(Upper Control Limit) 表示; 下控制限用 LCL(Lower Control Limit) 表示。上下控制限是依据 3σ 原理画在距中心线上下 3 倍标准差处的两条虚线,这里的标准差是指控制图所用统计变量数据的标准差。

1.3.4　控制图应用于过程质量控制(打点)

控制图绘制后,开始用于过程质量的控制。在生产过程中,按照确定的时间间隔或以单个产品为单位抽取样本,根据样本监控变量的测量值在控制图中打点,相邻的两个点用直线段连接,构成一幅折线图,用以判断过程是否正常受控。

1.3.5　质量异常判断准则

按照《常规控制图》(GB/T 4091—2001) 标准[3] 来判断控制图内点子的排列有无异常。当出现以下八种情况时,就认为生产过程异常,表明已经出现或即将出现过程失控。

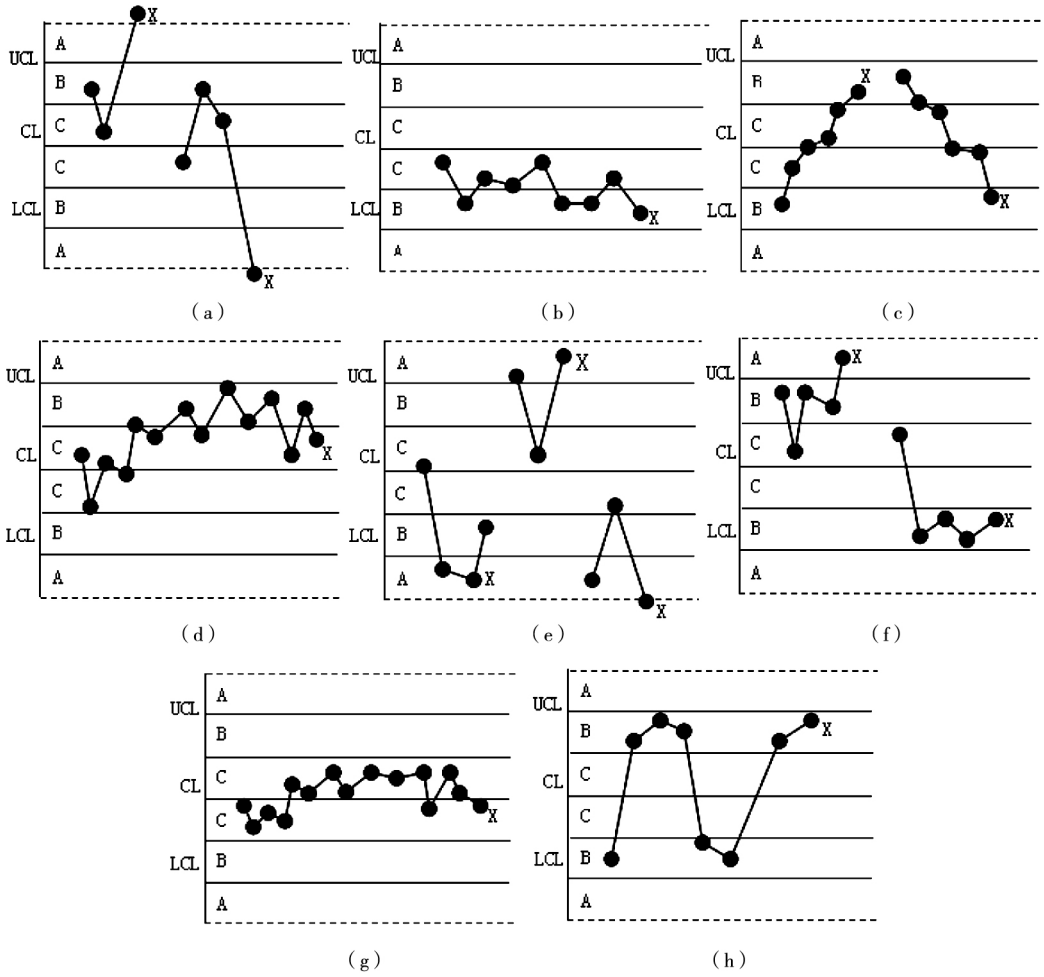


图 2　常规控制图异常判断准则

(1) 1 点落在 A 区以外(点超出控制界限),如图 2(a) 所示。

(2) 连续 9 点落在中心线同一侧(链),如图 2(b) 所示,表明质量特性值均值发生偏移。

(3) 连续 6 点递增或递减(趋势),如图 2(c) 所示。

(4) 连续 14 点中相邻点上下交替排列,如图 2(d) 所示。

(5) 连续3点中有2点落在中心线同一侧的B区以外,如图2(e)所示。

(6) 连续5点中有4点落在中心线同一侧的C区以外,如图2(f)所示。

(7) 连续15点落在中心线两侧C区之内,如图2(g)所示。这也是一种异常,可能数据分组不当,可能控制图本身使用时间过久,也可能是虚假数据所致。

(8) 连续8点落在中心线两侧且无一点落在C区之内,如图2(h)所示。

1.3.6 异常排除及控制图优化[2]

控制图中点排列出现异常时,说明过程已经或将要失控,若不加以纠正,定会出现不合格的结果,所以应当立即着手查明原因排除异常。

排除异常点后的数据组数若大于或等于20组,可以利用排除异常点后的数据重新计算控制界限并用于打点判断,用以对过程进行控制。排除异常点后的数据若少于20组,应重新抽样,重新做控制图。控制图中点排列正常(工序处于稳定受控状态)时,延长控制界限转换为控制用控制图,实施日常的过程质量控制。

质量管控工程师应当经常巡视各应用控制图的岗位,查看控制图,判断工序是否处于稳定的受控状态。当控制图上点排列出现异常时,应及时组织质量分析会,分析异常原因并采取纠正和预防措施。

以上就是SPC在线质量监控的基本原理和操作方法。

2 我国钢铁企业SPC技术应用现状

2.1 SPC技术在炼铁生产中的应用[4-5]

梅山钢铁公司炼铁厂、南通宝钢钢铁有限公司炼铁厂分别于2007年初和2009年底开始在高炉铁水生产过程中应用"SPC"工具监控铁水w[Si]量,采用均值极差控制图($X-R$控制图)对其进行监控。通过对现场数据的跟踪收集,用Minitab做出分析用控制图,将控制图放置于现场进行打点控制。

利用鱼翅图,采取"5M1E"方法,确定了影响铁水w[Si]的要因,制定了针对性的改进措施。经过半年以上的运行,梅山钢铁公司炼铁厂3#高炉铁水w[Si]过程能力指数C_{pk}呈上升趋势,高炉铁水w[Si]在大幅下降的同时,保持了高炉炉况的长期稳定顺行,达到w[Si]$\leqslant$0.52%的目标要求,并使3#高炉喷煤比创下历史新高,大于180 kg/t,达到降本增效的目的;南通宝钢钢铁有限公司炼铁厂的铁水w[Si]从0.62%下降到0.42%,铁水w[Si]过程能力指数C_{pk}由0.44提高到0.98,吨铁燃料比降低了14 kg。

2.2 SPC技术在炼钢生产中的应用

东北大学孟庆铎[6]于2006年利用标准化分析模块对某钢厂3万组连铸工艺参数数据进行标准化分析。使用统计过程控制方法(SPC)中的$X\text{bar}-R$图确定连铸过程7个工艺参数的标准限,并绘制出每个工艺参数的执行曲线。对非受控工艺参数进行记录,分别求出每个工艺参数的故障率。利用确定的工艺参数标准限对该厂2006年7月连铸过程中炉次为267炉的连铸过程进行工艺参数的标准化调整,经过连续的6次调整基本将非受控的工艺参数调整至标准限内。

石家庄经济学院的蔺志峰[7]于2010年设计了基于SPC的电炉炼钢质量管理系统,系统选取可采集的质量数据作为控制点,通过对质量波动监控、分析,逐步建立关键过程能力评估体系,系统具有自动采集、计算、统计分析数据的功能,可以识别由于物料、设备等因素波动导致的异常,使生产达到受控状态。该系统的具体应用情况未见报道。

太原钢铁集团有限公司炼钢二厂[8]于2017年设计开发了SPC监控系统,包括数据库、前台浏览界面、后台数据处理服务程序。实现:通过程序将分布于各主要工序的SPC监控点数据自动采集到主服务器中;用户按权限登录系统,可对所管控制点进行管理;控制点以预先设置的控制图类型进行实时显示,同时具备异常值报警功能;具备控制点数据导出到Excel功能。2016年SUH409L初判不合率为3%,在启用SPC监控系统后,SUH409L初判不合率降低了1.7%。

2.3 SPC技术在轧钢生产中的应用

杨德斌等[9]以宝钢高线为应用背景成功设计了一个线材质量监控与评估系统。宝钢高线生产线安装了测径仪可以把线材的直径、椭圆度和温度等参数实时的传送到计算机中,这为SPC的实现提供了可靠的数据来源。系统运行的2005年,采用工业现场工程规范的A级精度,$C_{pk}=3.586$,采用工程规范的B级精度,$C_{pk}=2.143$,采用工程规范的最高的C级精度,$C_{pk}=1.421$,从C_{pk}的值来看,对于直径规格为5.5 mm的线材的直径具有很强的过程控制能力。

2005 年天津钢管公司轧管厂[10] 运用人工 SPC 技术对无缝钢管壁厚精度进行控制，运用“鱼刺图”工具，对影响无缝钢管壁厚质量特性的主要因素进行了分析，对过程质量进行了针对性改进，过程能力指数 C_{pk} 由 0.80 提高到了 1.004，过程能力恢复到正常水平。

马鞍山钢铁股份有限公司第四钢轧总厂[11] 2013 年，针对热连轧过程品种规格连续变化的情况，运用 SPC 控制图基本原理，在热轧 MES 系统中开发了在线控制图用于监控热轧机组的受控状态，在实际生产中取得了较好的效果。

柳钢冷轧板带厂[12] 2016 年以传统的 SPC 理论为基础，结合冷连轧现场厚度控制的生产情况，通过数据自动采集、分类，数据优化处理，开发应用冷连轧厚度统计过程控制监控系统，解决了传统 SPC 控制图人工绘制的耗时、耗力、时效性差、监控不全面、判断不准等缺点，实现了传统 SPC 过程控制在现代冷连轧厚度控制中的应用，该 SPC 统计过程控制实时监控系统对异常判断准确，识别率高，能对冷连轧厚度过程控制的稳定性进行监控及识别，为厚度质量的控制提供指导。

鞍山钢铁集团公司[13] 2016 年基于数据挖掘和 SPC 技术，开发并应用了冷轧产品质量控制系统。将 SPC 控制图和数据挖掘引入并应用到新的质控流程当中，在关键工序过程中使用 SPC 控制图对关键参数进行监控，及时发现异常波动，保证了生产过程的稳定受控。HSLA 钢的成材率由 87% 提高到 90%，烘烤硬化钢的成材率由 80% 提高到 85%，St14 汽车板的成材率由 90% 提高到 92%。

河钢集团唐钢中厚板材有限公司[14] 于 2017 年运用 SPC 控制系统，结合现场的二、三级系统，搭建了一个整体信息化平台，采集现场生产实时数据并进行统计分析，辅助质量管理部门及生产操作人员通过层层解析，快速掌握制程要点。改善和建立控制基础，逐步提升目标质量的精确度与稳定性，提前预防可能发生的质量缺陷，减少生产过程的波动，降低异常缺陷的发生率，做到事前预防实时控制，事后追踪与有效分析。SPC 系统管控后，2017 年中厚板两切成材率提高 0.78%，四切成材率提高 1.05%，6 mm、8 mm 极薄板合格率由 93.86% 提高至 96.35%，节约质量管控人力 25%。降低产品售后服务费用，包括因质量原因引发的退货、换货、修理问题。

3　分析与讨论

从 2000 年后，我国一些钢铁企业开始尝试将 SPC 技术应用于钢铁生产过程，收到了提高合格率和工序能力指数的良好效果。2010 年以前，多数企业 SPC 是通过在 Excel 或者 Minitab 软件上以手工方式进行，控制图的数据来自于现场各个工位的二级或数据采集系统，各种数据的汇总、计算和分析由相关区域的技术工程师进行。这种原始方式，无法满足现代化生产与管理的需要。手工操作，必然存在数据筛选困难、数据无法共享等情况，使得 SPC 的准确性和指导性受到限制，也使得现场实时控制的效果大打折扣，增加了现场技术人员的工作负担，大量时间花在了数据统计上，反而没时间去发现 SPC 图所揭示的规律。

国内有软件企业开发了一些商业化的 SPC 软件，一般只是对数据进行计算和简单的统计分析，缺乏数据采集功能和对数据的长期跟踪处理，不能对质量的异常进行自动识别，更不能与企业其他的业务模块结合从整体上分析和考虑问题，在钢铁企业没有应用的案例。

2010 年后，太钢、柳钢、鞍钢、河钢等企业运用网络化、信息化手段，结合生产现场的二、三级系统，开发了具有数据自动采集、自动分析、自动绘制控制图、自动打点、自动异常判别、实时报警的 SPC 系统，使 SPC 在钢铁企业的应用上升到较高水平。

宝钢是国内最早应用 SPC 技术的钢铁企业，其开发并大面积推广了包含 SPC 子系统在内的宝钢一贯过程控制系统 BPC，两年内，使得 KOV（关键输出变量）的 $C_{pk} \geqslant 1.33$ 的比例由 28.45% 提高到 52.65%。宝钢 SPC 技术的应用代表着国内钢铁企业的最高水平。

4　我国钢企 SPC 技术发展方向

钢铁生产流程长，工序多、过程参数的数量巨大、另外当前我国钢铁企业的自动化水平很高，各生产系统中都存在着海量数据。针对这些特点，钢铁企业在开发应用 SPC 在线质量监控系统时，应当注意把握以下方向。

（1）以生产线为单元，建立统一的数据仓库，打破信息“孤岛”，将分散于各个子系统中的 KIV（关键输入变量）和 KOV（关键输出变量）自动采集到数据仓库中；

(2) 开发具有能够从数据仓库中自动采集数据、自动分析数据、自动绘制并连续不断优化控制图、自动打点、自动异常判别、实时报警等功能的人机界面友好的SPC系统;

(3) 应当将报警后的纠正措施和纠正效果录入系统,形成质量管控闭环,使系统完成自学习,自动固化到SPC解决方案系统中,随着时间的积累,将形成个性化的"生产线质量专家系统",为智能制造奠定基础;

(4) 升级SPC系统,发现非硬件原因导致的异常波动后,系统的"生产线质量专家系统"自动发出调整指令到一级系统,完成生产的自适应和自调整,初步实现智能制造。

参 考 文 献

[1] 何晓群,付韶军. 六西格玛质量管理与统计过程控制[M]. 北京: 清华大学出版社,2016.

[2] 杨鑫,刘文长. 质量控制过程中的统计技术[M]. 北京: 化学工业出版社,2014.

[3] GB/T 4091—2001,常规控制图[S].

[4] 余宁,赵宪林. SPC控制图在炼铁工序中的应用[J]. 梅山科技,2008,(4):1-3,6.

[5] 彭坤,季筱燕,王雷雷. SPC技术在南通宝钢炼铁生产中的应用[J]. 天津冶金,2011,(5):3-5.

[6] 孟庆铎. 基于标准化分析的铸坯内部质量分析模型的研究[D]. 沈阳: 东北大学,2009.

[7] 蔺志峰. 炼钢电炉基于SPC的质量管理系统设计[J]. 计算机与现代化,2010,(7):177-179.

[8] 周天成,聂景峰. 炼钢企业统计过程控制(SPC)系统开发[J]. 山西冶金. 2018,(1):106-108.

[9] 杨德斌,孙元波,阳建宏,赵社平. 高速线材生产中的质量控制[J]. 北京科技大学学报,2006,28(5):481-484.

[10] 胡玉敏. 天津钢管公司轧管厂过程质量控制研究[D]. 天津: 天津大学,2005.

[11] 刘强. 在线SPC控制图在热连轧生产中的应用研究[J]. 数理统计与管理,2014,33(2):329-335.

[12] 邓鹏,谭翠英,朱旋. 冷连轧带钢厚度统计过程控制系统的开发与应用[J]. 柳钢科技,2016,(2):37-40.

[13] 王亚杰. 基于数据挖掘和SPC的冷轧产品质量控制系统设计与实现[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学,2017.

[14] 王彦查,董寒. 中厚板公司SPC系统的建设与应用[J]. 河北冶金,2018,(6):56-59.

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.06.002

启 事

本刊已加入"万方数据库"、"中国知网"、"维普数据库"等。凡向本刊投递的稿件一经采用,即视为作者同意将作品的网络传播权及电子版使用权授予本刊,本刊一次性给付的稿酬已包含上述授权的费用。若不同意上述内容者,请在投递的稿件上予以特别声明,以便本刊酌情处理。

《包钢科技》编辑部