

综 述

doi: 10.3969/j.issn.1673-5692.2022.10.014

# 基于SPC的信息化生产线质量管理系统研究

党 静<sup>1</sup>, 任婷婷<sup>2</sup>, 赵 毅<sup>3</sup>, 谭 麟<sup>1</sup>, 左 飞<sup>1</sup>

- (1. 空军装备部驻北京地区第四军事代表室, 北京 100041;
2. 空军研究院通信与导航研究所, 北京 100085;
3. 空军装备部装备采购局, 北京 100039)

**摘 要:**考虑到军用电子元器件对产品质量高可靠性的要求,通过建立以信息化技术为依托的质量管理系统,将SPC技术与计算机技术相结合,完成质量信息数据的采集、传递、统计、分析与利用,实现元器件生产线的信息化管理。并运用SPC技术监控生产过程中的异常波动,发现生产过程中的薄弱环节,对生产过程中的质量信息进行有效管理和分析,为改进产品质量提供一定帮助,提高企业运行效率。

**关键词:** SPC; 电子元器件; 信息化; 质量管理

**中图分类号:** TB497      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1673-5692(2022)10-1027-05

## Research on Quality Management System of Information Production Line Based on SPC

DANG Jing, REN Ting-ting, ZHAO Yi, TAN Lin, ZUO Fei

- (1. The Fourth Military Representative Office of the Air Force Armament Department in Beijing, Beijing 100041, China;
2. Air Force Research Institute, Beijing 100085, China;
3. Equipment procurement Bureau of Air Force Equipment Department, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Considering the requirements of the military-used electronic components to the high reliability of product quality, through establishing the quality management system based on information technology, combining the SPC technology and computer technology, to complete collection, transmission, statistics, analysis and use of the quality of information, then realizing the information management of components production line. And using the SPC technology to monitor the abnormal fluctuations in the process of production, the bottleneck in production can be found, to achieve effective management and analysis of quality information in the production process, for improving product quality to provide certain help, and improve the operation efficiency of enterprises.

**Key words:** SPC; electronic components; information; quality management

## 0 引 言

军用电子元器件行业对于产品质量保证的关键和重点之一是生产过程中的质量控制。运用统计过程控制(Statistical Process Control, SPC)技术可以对过程的质量状况进行有效的分析和控制<sup>[1]</sup>。利用

分析过程中,如设计研发过程、产品制造过程、筛选过程、检验试验过程等的状态变化来研究过程满足产品质量要求的能力及其稳定性,及时发现过程中的异常波动,并采取相应的措施来消除异常波动造成的不良影响,使整个过程保持在受控的状态,从而达到控制、改进和提高过程质量的目的。

经过在全世界范围的不断实践,时至今日,SPC

收稿日期:2022-07-20      修订日期:2022-09-10

理论已经得到十分广泛的应用,其与现代信息化手段的结合越来越紧密,在企业中的应用范围和发展程度也日渐成熟<sup>[2]</sup>。随着计算机技术的飞速发展,现代电子元器件制造企业生产多采用信息化的生产线<sup>[3]</sup>,由于军用电子元器件本身的高质量要求和用户对于产品质量的要求不断提高,提升生产线的自动化和信息化水平,实现 SPC 技术与信息化生产线的强强联合,对于提高军用电子元器件质量管理效率变得十分必要。

考虑到统计过程控制的数据采集过程越准确、数据量越大,越有利于控制图的呈现和生产过程的有效监控,以及军用电子元器件产品具有多品种小批量生产的特点和质量数据量大、对产品质量有高可靠性的要求,本文以军用电子元器件的生产过程为背景,对基于 SPC 的信息化生产线质量管理体系进行了研究。

## 1 SPC 技术

SPC 技术是在统计质量控制阶段产生并发展而来的,它是运用数理统计技术对生产过程进行管理和评估的一种方法,确定生产过程处于受控的状态,以降低产品品质的变异。

在具体应用过程中,SPC 技术通过在生产过程中对产品的关键过程和关键控制点进行重点管控,以实现在大批量生产过程中保证产品质量的目的。在实施 SPC 过程中,运用控制图对关键控制点进行实时监控,判断生产过程是否受控以及对于失控情况是否具有足够的协调能力,为过程提供一个早期的预警功能,及时监控生产过程的异常情况以避免不合格品的产生。其中,控制图是用于分析和判断过程是否处于稳定状态所使用的带有控制界限的图,是具有区分正常波动和异常波动的功能图表,是现场质量管理中重要的统计工具。

### 1.1 SPC 原理

SPC 的基本原理是根据数理统计分析理论,对连续采集的多批工艺参数数据进行定量的统计分析,对生产过程是否处于统计受控状态做出定量结论,同时也可对工艺达到的能力水平做出评价。当出现能力下降、过程失控或有失控倾向时,立即发出警报,以便及时查找原因,采取纠正措施,使生产过程一直处于统计受控状态。

传统的检验试验、积累使用寿命数据等质量保证手段均属于事后判断,而 SPC 则强调全过程监

控、全系统参与,运用统计技术实施全过程预防,将事后补救前移位事中控制和事前预防,降低成本,提高生产力,从而提高产品质量及可靠性水平。

### 1.2 SPC 控制方法

SPC 控制方法之一为  $3\sigma$  原理,休哈特博士率先提出了控制与预防相结合的概念,并建议通过设置有效的控制界限,对引起过程质量异常的原因进行判定和分析,即以  $\pm 3\sigma$  为界限来实现对过程的控制。

当过程只发生正常变异时,过程质量特性呈现正态分布,即  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ ,其分布状态如表 1 所示。这表示正常的过程所生产出来产品的质量特性,其分布大多呈正态分布,只有 0.27% 的产品会超出三个标准差 ( $\pm 3\sigma$ ),也可以理解为 10 000 个产品范围内不合格品的数量不超过 27 个,则判定该生产过程是正常受控的,若不合格品数量达到 27 个以上,则判定该过程是不受控的。

表 1 过程质量特性分布

界限	界限内概率/%	界限外概率/%
$\pm 0.67\sigma$	50.00	50.00
$\pm 1\sigma$	68.26	31.74
$\pm 1.96\sigma$	95.00	5.00
$\pm 2\sigma$	95.45	4.55
$\pm 2.58\sigma$	99.00	1.00
$\pm 3\sigma$	99.73	0.27

### 1.3 SPC 控制图理论

控制图运用的统计原理即为  $3\sigma$  原理,控制图理论是 SPC 实施过程最有效的统计控制技术之一<sup>[4]</sup>。控制图从本质上来讲是统计技术在过程控制中的应用,其大致可以分为数据收集、处理、分析、解释四个过程,控制图的具体实施是一种过程控制,以预防为主,把影响产品质量的诸多因素解决于萌芽状态,减少不合格品的产生,以保证产品质量,降低生产成本,提高生产效率和经济效益。

实施 SPC 的过程一般分为两个步骤:第一,通过 SPC 工具对过程实施初步分析,比如绘制分析用控制图,根据控制图分析结果识别过程中的风险,并采取必要的解决措施,消除系统性因素的影响,或者通过管理层介入减小该过程的随机波动,使过程能满足要求。第二,运用控制图对整个生产过程进行监控,控制图可以通过产品质量特征值的图形化描述来识别和发现产品生产过程中的质量波动情况,以保证

过程达到规定的质量要求。

## 2 基于 SPC 的信息化生产线

### 2.1 质量信息数据的采集统计

军用电子元器件在生产制造过程中,产品的质量检验任务是相当繁重的,不仅包括过程质量检验,还有成品质量检验,而且对于质量控制的实时性和准确性要求很高,产品的质量信息需要在生产现场和相关责任部门如质量部、生产制造部、工艺部之间进行相互传递,以保证可以及时跟踪产品的动态质量状况。这对于提高产品的质量,减少物料浪费,降低生产成本,提高生产力十分重要。

目前军用电子元器件产品的生产制造在质量管理控制方面呈现的特点为工艺生产过程相对稳定,但是工艺参数较多,同时过程质量检验的自动化程度低、检验数据量大<sup>[5]</sup>,数据利用率低,质量数据经过检验后无法实现部门间的共享和分析利用,由于效率低下更是难以对这些产品的质量数据进行实时的、有效的统计过程分析,也无法及时识别生产过程中出现的质量问题,等到最终的成品质检环节时再发现产品有问题,将造成极大的资源浪费,同时给企业的产品质量控制带来极大风险,使军用电子元器件产品在质量管理和控制方面面临着巨大的压力。因此,采取信息化质量数据采集技术,有效地实现质量数据的共享和高效利用也显得十分必要<sup>[6]</sup>。

制造执行系统(Manufacturing Execution System, MES)作为制造业重要的生产管理系统之一,在电子元器件行业的应用还有很大的发展空间。我们可以将 SPC 系统作为制造执行系统的一个功能模块,建

立信息化生产线质量管理体系(后文简称“质量管理体系”),开发可以实现共享功能的中心数据库,在两者之间实现生产信息和质量数据的动态反馈,进而达到两者有效集成的目的。通过 MES 系统实时跟踪生产资源(人员、机器、原料、方法、环境等)的当前状态,并与数据采集系统集成,采集生产过程的工艺参数和检验数据,运用 SPC 技术对关键工序的生产过程进行控制,保证质量数据的高效利用,实现生产设备网络化,生产数据可视化,生产过程透明化。

军用电子元器件产品具有多品种小批量生产的特点,不同产品在生产流程与工艺控制要求上有重叠也有区分,基于此特点企业可以制定适应于自身的一套质量管理体系。MES 则是以产品系列为源头,在系列树中逐一配置“人、设备型号(机)、物料规格(料)、工艺参数(法)、环境要求(环)、测试标准(测)”等信息,如图 1 所示。在源头上固化工艺路线与工艺要求,可以使生产过程稳定可控,并从各个角度监控产品的生产过程,从而实现有据可查,杜绝因人为失误导致的质量风险,保证逐批/逐只产品的全流程可控、可追溯。在提升产品生产效率的同时,利用 SPC 技术能够实现对关键工艺参数的数据分析和跟踪,及时发现质量波动,采取措施对潜在风险及时识别和控制。

### 2.2 质量管理体系

军用电子元器件生产过程对产品质量要求高而且质量检验环节多,监视测量设备的检定计量任务多,所以在生产与检验试验过程中需要大量的人力成本,由此增加了生产流程中的诸多不可控因素。信息化生产线质量管理体系依托智能制造手段实现对整个生产线的质量管理,质量管理体系本身并不能直接创造效益,但它对企业生产过程质量的提升

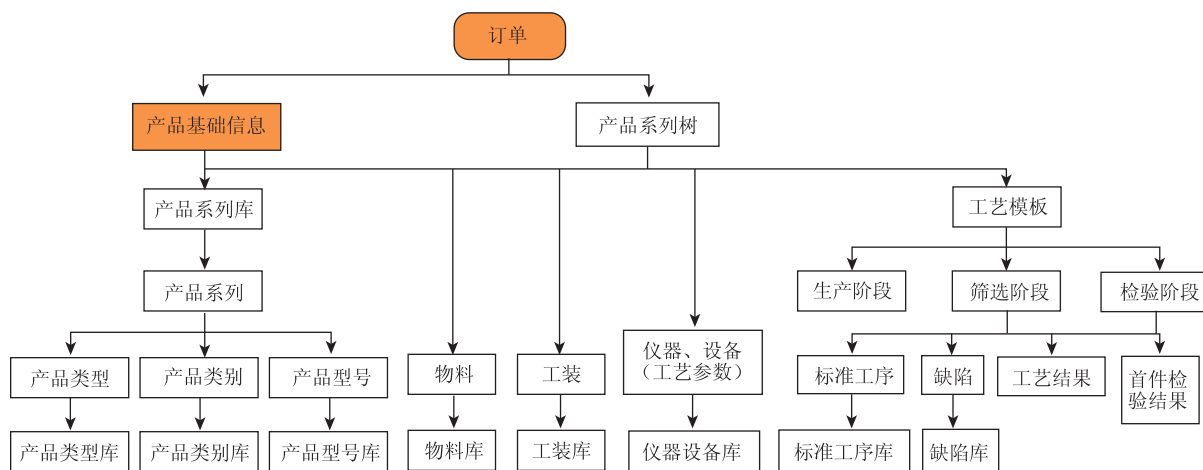


图 1 MES 系统架构图





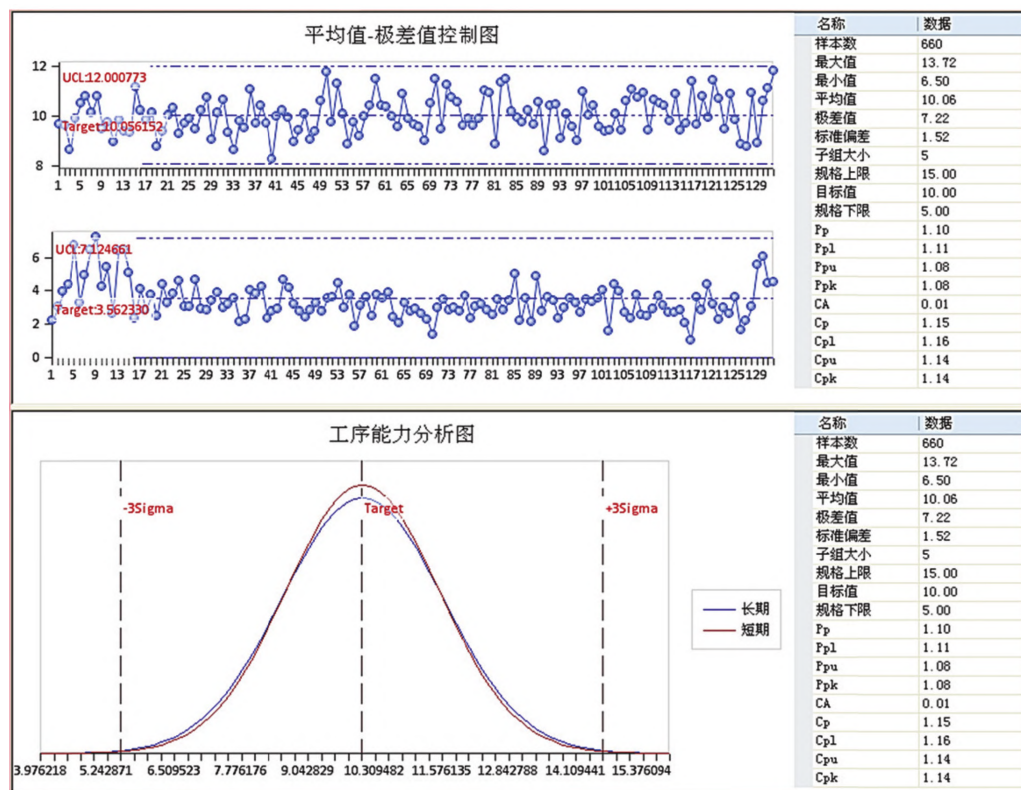


图 4 控制图示例

表 2 微调工艺规范要求

重要特性参数	设备型号	目标值/ ppm	规范线/ ppm	$C_{pk}$ 要求值
频率偏差	W-5910B	10	$\pm 5$	1.1

注:  $C_{pk}$  为工序能力指数, 表示工序能力满足技术标准 (例如规格、公差) 的程度。

$$C_{pk} = \frac{T}{6\sigma}(1 - k) = \frac{T_U - T_L}{6\sigma} \left[ 1 - \frac{|\mu - (T_U + T_L)/2|}{(T_U - T_L)/2} \right] \quad (1)$$

其中,

$$T = T_U - T_L$$

$$k = \frac{|\mu - (T_U + T_L)/2|}{(T_U - T_L)/2}$$

式中:  $\sigma$  为处于稳定状态下的工序的标准偏差;  $\mu$  为工艺参数分布的中心值;  $T_U$  为公差上限;  $T_L$  为公差下限;  $T$  为公差范围, 即产品质量的规格范围;  $k$  为相对偏移量。

当  $C_{pk}$  值不能满足要求的情况下, 需要进行原因分析一般存在两种原因: 1) 实际生产中若标准偏差不大于规范范围的十分之一, 则判定为基本正常, 否则标准偏差偏大; 2) 参数分布平均值与规范的中心值之间的差太大。

当  $C_{pk}$  值不合格时, 说明当前工序能力不能满足设计质量要求, 需通过问题原因分析, 找到薄弱环节

所在, 然后采取对应措施提高工序能力, 加强对工序的控制。通常在加工过程中影响工序能力的因素主要来自人员、机器、原料、方法、环境等方面。

上述质量监控过程均可以在质量管理系统中实现, 企业通过建立适用的质量管理系统, 合理地运用质量管理工具以及质量管理软件, 结合 SPC 技术对生产过程进行监控, 及时识别薄弱环节, 能够有效地减少产品返工次数, 降低返工率, 提高产品一次合格率。

### 3 结 语

考虑到军用电子元器件产品具有多品种小批量生产的特点, 以及对产品质量高可靠性的要求, 本文通过基于 SPC 的信息化生产线质量管理手段研究, 提出了将 SPC 技术与制造执行系统相结合, 建立电子元器件的信息化生产线质量管理系统, 综合数据采集及数据共享技术, 分析信息化生产线对质量数据的采集、传递、统计、分析与利用, 得出将 SPC 技术运用到现代制造企业生产线的质量管理中, 可以有效发挥控制图的及时预警、实时监控功能, 以确保产品质量的波动情况符合控制要求, 为企业管理者提供更多的决策支持。同时, 利用质量管理系统强大

(下转第 1036 页)

保障、评估等任务按需分配至各作战或保障节点<sup>[5,11]</sup>。

## 4 结 语

本文以两栖作战典型场景为输入,在分析国外,特别是美军在无人跨域协同作战体系发展现状的基础上,分析了无人车、无人艇、无人潜航器、无人机等无人装备在未来两栖作战中可能的用途和发展趋势。并重点对未来两栖无人作战装备跨域协同运用样式进行了研究探讨。两栖无人作战体系和无人装备建设处于快速发展阶段,应在注重单一两栖无人作战装备发展的基础上,更要在多域信息一致性表征与融合、全域战场一体化感知、一体化通联体制与指控、多域协同规划与互操作性等方面加强研究,应将导航、感知、控制、规划、决策、打击、评估、人机交互等在跨域协同框架下一体化规划两栖无人作战装备发展。

### 参考文献:

- [1] 许晓航,刘利华,刘建威,等. JP3-02 两栖作战准则[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2020.
- [2] 杨鹏,初晓辉,陈海. 对抗环境下的濒海作战行动[R]. 远望智库技术预警中心,2020. 12
- [3] 胡中强,孙建锋. 无人争锋:智能化战争探析[M]. 北京:机械工业出版社,2021.
- [4] Robotics 2020: Multi-Annual Roadmap for Robotics in

Europe[R]. Brussels, Belgium: eu Robotics, 2014.

- [5] 何玉庆,秦天一,王楠. 跨域协同:无人系统技术发展和应用新趋势[J]. 无人系统技术,2021,4(4): 1-13.
- [6] 樊高月. 美军“跨域协同”作战思想探析[J]. 国防,2015(2): 47-51.
- [7] 黄松华. 有人/无人作战体系架构和协同机制研究[C]// 第七届中国指挥控制大会论文集. 北京:中国指挥与控制学会,2019: 164-168.
- [8] 壹鸣智库. 国外军用无人地面车辆技术与应用研究[R]. 江阴:知远战略与防务研究所,2019.
- [9] 董晓明. 海上无人装备体系概览[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2020.
- [10] 王文豪,姚振兴,李志鹏,等. 无人作战体系在登陆场景中的运用[J]. 飞航导弹,2018,4: 33-35.
- [11] 全杰,贺庆. 跨域融合机理与运用研究[J]. 中国电子科学研究院学报,2021,16(12): 31-40.

### 作者简介

孟祥辉(1979—),高级工程师,主要研究方向为两栖作战和陆特战装备体系论证;

刘青峰(1972—),高级工程师,主要研究方向为两栖与无人装备论证;

李晨阳(1993—),助理工程师,主要研究方向为两栖装备论证与技术研究;

林臻(1988—),工程师,主要研究方向为两栖作战与装备体系论证。

的质量信息储存功能和数据处理分析功能,能够实时、高效地处理生产过程中大量的质量信息,十分符合军用电子元器件产品的生产特点,也有利于促进SPC 技术在现代制造企业质量管理中的推广和应用。

SPC 技术是在对大量的数据进行统计和分析的基础上应用的,其实施需要保证及时性和过程的稳定性,对测量系统的依赖性较高,测量系统的校准和精密度对 SPC 过程监控有着重要的影响,因此应对测量系统采取必要的保证措施。接下来的研究可以考虑对于信息化生产线中测量系统的分析与评价,以及保证测量系统准确度和精密度的控制措施。

### 参考文献:

- [1] 图布新. 质量统计过程控制技术 SPC 的应用及实现方法[J]. 科技展望,2016,362(9): 141.
- [2] 王海宇. SPC/APC 整合模式下的过程质量控制经济统计优化设计[J]. 系统工程理论与实践,2021,41(8): 11.
- [3] 王默,唐静静. 基于多系统融合的一体化平台架构研究[J]. 中国电子科学研究院学报,2021,16(8): 834-838.

- [4] DE LA TORRE-GUTIÉRREZ H, PHAM D T. A control chart pattern recognition system for feedback-control processes[J]. Expert Systems with Applications, 2019, 138: 112826.

- [5] 吴东峰. 面向电子元器件质量控制的关键技术与系统研究[D]. 北京:北京理工大学,2015.

- [6] 胡伟杰,殷楠,江阳. 基于 MBD 的武器系统质量管理决策分析方法研究[J]. 中国电子科学研究院学报,2017,12(3): 317-321.

### 作者简介

党静(1985—),工程师,主要研究方向为软件工程、航空电子、质量管理等;

任婷婷(1985—),工程师,主要研究方向为强敌研究、作战仿真;

赵毅(1985—),工程师,主要研究方向为军事装备学;

谭麟(1983—),工程师,主要研究方向为软件工程、航空电子等;

左飞(1980—),工程师,主要研究方向为军事装备学、航空弹药学。