

航天元器件关键工艺的统计过程控制方法

贾彬, 段超

(中国空间技术研究院 宇航物资保障事业部, 北京 100094)

摘要: 文章以统计过程控制 (SPC) 中的均值-标准差 ($\bar{X}-R$) 控制图理论方法为基础, 以宇航元器件关键工序中的集成电路键合拉力强度为研究对象, 提出宇航元器件关键工序进行 SPC 的必要性, 并提出以 ($\bar{X}-R$) 控制图作为质量工具对宇航元器件关键工艺进行质量监控的方法, 计算出该关键工艺的过程能力指数。

关键词: 统计过程控制; 元器件工艺; 二方审查; 数据监控

中图分类号: V46-65

文献标识码: A

文章编号: 1673-1379(2012)02-0227-04

DOI: 10.3969/j.issn.1673-1379.2012.02.022

0 引言

统计过程控制 (statistical process control, SPC), 是指用统计技术对生产过程的各个阶段进行评价和监控, 该方法目前较为成熟地应用于各行业大规模生产过程中, 军标生产线普遍使用 SPC 作为品质控制工具对关键生产工艺进行质量控制。由于航天产业的特殊性, 大规模生产线较少, 因此 SPC 在航天产品的研制工作中较难具备应用条件。但作为元器件质量保证单位, 一方面面对型号用户需求, 须提供高品质的元器件质量保证服务; 另一方面面对的是元器件生产厂, 对他们提供的产品需代表用户方进行二方审查监督, 因此有必要了解 SPC 的原理并用其指导工程实践。目前元器件质量保证试验工作中采用 SPC 数据统计控制进行分析处理的工作还不成熟, 仅对生产厂提供的 SPC 控制结果进行检查已不能满足全面质量控制的要求。本文重点站在二方审查角度, 通过使用 SPC 方法对航天元器件生产厂提交产品在元器件质量保证试验过程中进行统计控制, 提出对航天常用元器件的关键工艺实施 SPC 具有现实的实践意义。

航天用元器件的键合丝如果在轨发生断裂、脱落, 将直接影响整个集成电路的功能输出, 进而影响整个单机产品乃至整个卫星的在轨使用。因此, 对于集成电路的键合工艺将作为关键工艺进行工

艺水平控制, 这就使得采用 SPC 进行数据监控尤为重要。本文拟通过对宇航用户委托质量保证单位进行的某集成电路破坏性物理分析 (简称 DPA) 试验项目中的键合剪切强度为数据源, 以 SPC 理论中的 $\bar{X}-R$ 原理为理论基础, 提出对航天常用元器件的关键工艺进行 SPC, 从而建立科学的预警模型的有效方法。

1 $\bar{X}-R$ 控制图的基本原理

均值与极差控制图是计量值控制图中最为常用的一种质量工具, 它是通过联合使用 \bar{X} 控制图和 R 控制图, 调查平均值 \bar{X} 和极差 R 是否有异常变化来对工序进行控制的。其中 \bar{X} 控制图用来控制平均值的变化; R 控制图用来控制工序散差的变化^[1-2]。

2 $\bar{X}-R$ 在关键工序数据监控的应用流程

将 $\bar{X}-R$ 控制图作为对航天用高可靠元器件关键生产工序进行监控的预警办法, 采用科学的数学方法建立预警线 (UCL), 经由对试验数据进行整理, 通过 SPC 的理论进行数据监控和预警。当判断出某类元器件在某关键工艺上没有满足航天标准要求时, 对出现波动的数据除按标准要求进行批拒收以外, 还应对其潜在的工序能力进行判断, 如出现数据异常应建立有效措施加以改进, 其重点在于根据图 1 的流程不断持续改进该重点工序的工序能力指数。

收稿日期: 2011-06-28; 修回日期: 2012-03-19

作者简介: 贾彬 (1982—), 男, 硕士研究生, 主要从事元器件质量保证数据统计分析。E-mail: jiabin8235@163.com.

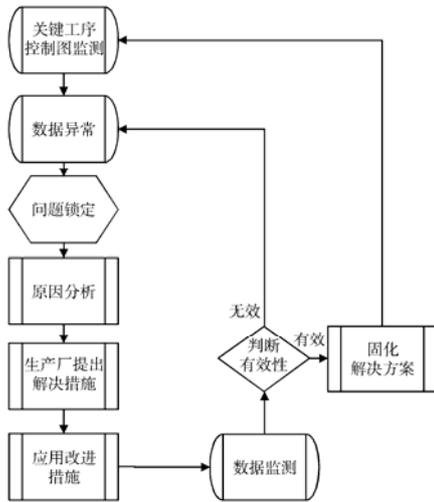


图1 使用控制图监控数据异常工作流程

Fig. 1 The flowchart of using control chart to monitor the data anomaly

3 航天型号用集成电路键合工艺 $\bar{X}-R$ 控制图的建立

选取为航天型号供货的 XX 厂采用同种工艺生产的同种型号的集成电路产品进行 DPA 键合拉力试验的试验数据为数据源。由于该种类器件芯片有 4 根引线，对同种型号集成电路 DPA 试验中键合强度的 80 余个试验数据进行拟合发现，该数据分布满足正态分布规律（如图 2 所示），因此，可以考虑使用 SPC 中的 $\bar{X}-R$ 控制图对其关键工艺进行数据监控。在此前提下，将每个芯片得到的 4 个数据组成一个数据单元，并形成 22 组建立 $\bar{X}-R$ 控制图的数据源，如表 1 所示。

经数据拟合，该工序满足的正态分布概率函数表达式为^[3]

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2}} \quad (-\infty < x < +\infty), \quad (1)$$

其中： $u = 21.764$ ； $\sigma = 5.952$ 。

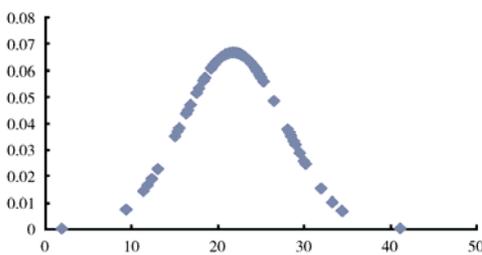


图2 集成电路键合工艺的正态分布拟合

Fig. 2 Normal distribution fitting curve of the bond strength of the integrated circuit

表1 XX 厂 XX 型号集成电路键合力数据计算表
Table 1 Coefficients of the control chart

键合数据/g				\bar{X}_i/g	R_i/g
11.3	21.0	20.0	1.8	13.525	19.2
23.5	23.3	24.3	13.0	21.025	11.3
15.5	24.5	19.5	23.8	20.825	9.0
12.3	20.0	16.8	17.8	16.725	7.7
32.0	20.8	16.5	21.0	22.575	15.5
25.0	25.0	25.3	33.3	27.15	8.3
16.5	20.0	22.8	15.0	18.575	7.8
19.3	24.0	20.3	29.0	23.15	9.7
19.7	23.5	30.2	16.5	22.475	13.7
18.3	34.5	20.9	21.6	23.825	16.2
20.1	20.1	22.2	21.8	21.05	2.1
28.1	34.4	20.0	21.6	26.025	14.4
29.5	28.3	22.6	41.2	30.4	18.6
17.8	25.3	23.0	28.5	23.65	10.7
24.0	15.3	21.8	20.3	20.35	8.7
15.5	30.0	21.3	11.8	19.65	18.2
20.0	20.5	17.8	9.3	16.9	11.2
11.8	20.8	28.8	22.0	20.85	17.0
22.5	23.3	19.2	28.5	23.375	9.3
29.5	22.0	18.5	24.8	23.7	11.0
25.3	22.0	16.3	26.5	22.525	10.2
17.5	22.3	22.3	19.8	20.475	4.8

根据 GB/T 4091—2001 规定，在 $\bar{X}-R$ 控制图中必须先作 R 图。如果先作 \bar{X} 图，则由于此时 R 图还未稳定，所以 \bar{R} 的数据不可用；因此必须先进行 R 图判稳，再进行 \bar{X} 判稳^[4]。

通过计算样本总均值得到 $\bar{\bar{X}} = 21.7636$ ， $\bar{R} = 11.6$ ，再计算 R 图的中心线及控制限为

$$UCL_R = D_4 \bar{R} = 2.282 \times 11.6 = 26.4712, \quad (2)$$

$$CL_R = \bar{R} = 11.6, \quad (3)$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R} = 0. \quad (4)$$

式中 D_3 、 D_4 为与样本容量有关的系数，根据表 2 得^[4]，当子组大小为 $n=4$ 时， $D_4=2.282$ 。根据测试数据拟合成的极差控制图如图 3 所示。

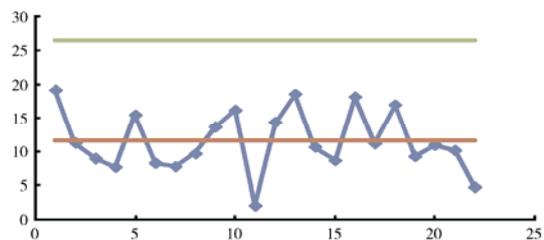


图3 XX 厂键合工艺极差控制图

Fig. 3 The control chart for the bond strength out of control

在 R_i 判稳后, 再建立 \bar{X} 控制图。由于在 $n=4$ 时, 查表 2 可得 $A_2=0.729$, 再将 $\bar{X} = 21.7636$, $\bar{R} = 11.6$ 带入下式^[5], 得到该厂键合工艺的均值控制图 (图 4)。

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 \bar{R} = 21.7636 + 0.729 \times 11.6 = 30.22, \quad (5)$$

$$CL_{\bar{X}} = \bar{X} = 21.7636, \quad (6)$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 \bar{R} = 21.7636 - 0.729 \times 11.6 = 13.31. \quad (7)$$

表 2 计量控制图系数表

Table 2 Coefficients table of the measurement control

子组大小/n	均值控制图			极差控制图					
	控制限系数			中心限系数		控制限系数			
	A	A_2	A_3	d_2	d_3	D_1	D_2	D_3	D_4
2	2.121	1.88	2.659	1.128	0.853	0	3.686	0	3.267
3	1.732	1.023	1.954	1.693	0.888	0	4.358	0	2.574
4	1.500	0.729	1.628	2.059	0.880	0	4.698	0	2.282
5	1.342	0.577	1.427	2.326	0.864	0	4.918	0	2.114

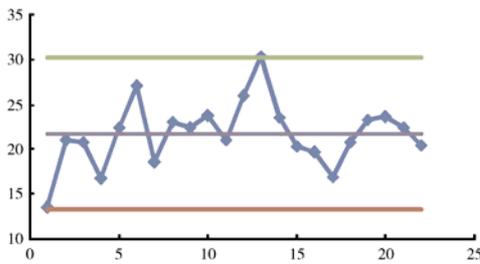


图 4 XX 厂键合工艺均值控制图

Fig. 4 Control chart for the bond strength

4 过程能力指数的计算

根据 GJB 548B 《微电子器件试验方法和程序》的有关规定: 对 $70\mu\text{m}$ 铝丝键合的强度要求是 8g ^[6], 而没有上限要求, 因此计算过程能力指数需采用单侧公差情况的过程能力指数。在本例中, 标准中只有下限要求而没有上限要求, 则下单侧过程能力指数计算为

$$C_{pL} = \frac{\mu - T_L}{3\sigma} \quad (\mu > T_L), \quad (8)$$

其中当 $\mu \leq T_L$ 时, $C_{pL} = 0$ 。

将 $\mu = 21.7636\text{g}$, $T_L = 8\text{g}$, $\sigma = 5.952$ 代入式(8)得

$$C_{pL} = \frac{21.7636 - 8}{3 \times 5.952} = 0.77 < 1. \quad (9)$$

上述计算结果表明: XX 厂铝丝键合工艺的过程能力指数相对较低, 需要立即采取针对性措施加以改善。

综上所述, 该厂键合工艺 (以 $70\mu\text{m}$ 铝丝为

例) 符合正态分布规律, 说明该厂键合工艺的极差控制在数据统计上是受控的, 通过采用单边过程能力指数计算出该关键工艺的过程能力指数为 0.77, 过程能力控制相对薄弱, 需要结合其工艺过程查找问题原因。元器件质量保证单位也应结合型号实际需要, 监督生产厂做好关键工艺的 SPC 工作, 以提高生产厂的工艺控制水平。

5 结束语

本文基于 SPC 控制中的 $\bar{X} - R$ 控制图监控方法, 对航天元器件生产过程中的关键工艺过程进行 SPC 控制, 并按照 $\bar{X} - R$ 控制图要求, 得到了该关键工序的控制限, 同时结合标准判据, 计算出 XX 厂对于 $70\mu\text{m}$ 铝丝键合的过程能力指数, 提出针对控制限以外的合格产品的控制要求。

参考文献 (References)

- [1] 周尊英, 刘海峰, 孙建国. 质量管理实用统计技术[M]. 北京: 中国标准出版社, 2009
- [2] 张凤荣. 质量管理与控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006
- [3] 秦现生. 质量管理学[M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2008
- [4] 全国质量专业技术人员职业资格办公室. 质量专业理论与实务[M]. 北京: 中国人事出版社, 2010
- [5] 陈俊芳. 质量改进与质量管理[M]. 北京师范大学出版社, 2007
- [6] GJB 548B 微电子器件试验方法和程序[S], 2007-07 (2005-10-02 颁布; 2006-01-01 实施)

Statistical process control of key processes for space-level component

Jia Bin, Duan Chao

(China Aerospace Components Engineering Center, China Academy of Space Technology, Beijing 100094, China)

Abstract: Based on the average value - standard deviation ($\bar{X} - R$) control chart theory of the statistical process control (SPC), the bond strength of the integrated circuit, as an important parameter in processing space-level components and parts, is investigated. The importance of the SPC in processing space-level components and parts is discussed, with the ($\bar{X} - R$) control chart as a tool for quality control. The process power index in the above key process is calculated.

Key words: statistical process control; component processing; check from a second party; data monitoring

技术沙龙

北京卫星环境工程研究所邀请清华大学李先庭教授进行学术交流

2月29日,北京卫星环境工程研究所邀请到清华大学建筑学院李先庭教授进行了一次主题为“封闭空间空气品质的评价方法”的交流活动。

李先庭教授于1995年获清华大学博士学位,2005年入选教育部新世纪优秀人才计划,现为清华大学建筑学院建筑技术科学系教授、博士生导师。他是国内最早开展室内空气环境数值模拟的专家之一,也是世界上最早开展反恐通风研究的专家之一,在公共建筑突然释放污染物和采用麻醉气体解救人质的反恐通风方面的研究受到国际同行的关注,并受美国Nova科技出版社邀请编著反恐专著,研究成果得到国际同行的好评。

交流过程中,李先庭教授首先介绍了其课题组的主要研究领域及研究成果,随后围绕着“封闭空间空气品质的评价方法”这一主题,介绍了空气品质评价的研究背景以及在民用建筑领域的应用情况,深入地分析了影响空气品质的几种影响因素,包括物理污染、化学污染、生物污染、通风换气以及空气净化等,并从理论及应用两个方面详细地阐述了用于空气品质评价的相关指标,主要包括污染物浓度、新风量、空气龄、换气效率、污染物排空时间等。同时,李教授介绍了多模式通风、非均匀室内环境营造研究的进展情况。接下来,他详细阐述了空气龄理论,解释了房间空气龄与全程空气龄的含义与差异,以及空气龄计算及试验方法,并结合载人航天器封闭环境空气品质评价与到会人员进行了深入探讨。李教授指出:对于核潜艇、空间站等长期有人活动的封闭空间,进行封闭空间空气品质评价是非常有必要的,有利于为人员提供舒适的环境,避免污染物聚集以及在突发故障中能够有效排除污染物,确保人员安全。相关的评价方法应主要包括污染物浓度测算、污染物年龄测算、空气龄测算等。

李先庭教授的讲座深入浅出,使到会人员充分认识到空气品质评价的重要意义。交流过程中,北京卫星环境工程研究所技术人员与李教授就空气评价指标确定、理论验证、测试方法、除污措施等进行了深入探讨。通过本次交流活动,技术人员对封闭空间的空气品质评价有了更高的认识,拓展了相关研究思路,为今后开展空间站航天员生活环境品质评价工作奠定了理论及技术基础。

(苏新明 供稿)