

小批量产品生产过程统计质量控制方法研究^{*}

张昌福¹, 陈光冬², 殷志明², 江志林¹

(1. 驻一七厂军代室, 重庆 401321; 2. 国营107厂质量部, 重庆 401321)

摘要: 研究了多品种、小批量产品生产过程的统计质量控制方法理论, 提出了用“通用控制图”进行多品种、小批量产品的生产过程质量控制, 采用实例进行了分析. 该方法可对推广控制图在质量管理领域的运用以及控制多品种、小批量产品的质量提供思路和方法.

关键词: 小批量; 生产过程; 统计质量控制

中图分类号: O213.1

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2009)07-0112-03

预防原则是现代质量管理的核心与精髓, 为了保证预防的实现, 可广泛应用统计质量控制(SPC)这一工具. SPC是利用统计技术对过程中的各个阶段进行监控, 从而达到保证产品质量的目的^[1]. 为了用统计方法对多品种、小批量的生产过程进行控制, 就有必要对现有控制图理论进行探讨, 以适用于多品种、小批量的生产过程.

1 方法研究

1.1 通用图法介绍

多品种、小批量生产的关键在于小批量, 小批量就意味着产品数量少、数据少, 故与统计控制所需要的大量数据产生矛盾. 为此, 可充分利用当前小样本和历史信息, 将相似工序的数据即同类型分布的数据, 经过数学变换使之成为同一分布的数据, 积少成多, 在同一张控制图上进行控制. 这种控制图可称为通用图, 故此方法可称为通用图法.

那么, 哪些工序可称为相似工序呢? 可以从以下几方面考虑, 相似工序指下列六方面相似:

- 1) 同一类型的质量指标;
- 2) 同一台或同一型号的设备;
- 3) 同一类型的加工件;
- 4) 同一组操作人员;
- 5) 同一类型的操作;
- 6) 在同一车间内, 即在同一环境内.

对相似工序数据中每一组服从正态分布的数据 $N(\mu_i, \sigma_i)$ 进行标准变换, 使其变换成服从标准正态分布 $N(0, 1)$ 的数据, 然后在通用图上进行统计控制. 其缺点是要对每一个零件 i 的参数 μ_i, σ_i 进行估计后才能进行统计控制.

1.2 数理分析^[2-6]

依据数理统计理论, 可以认为每一个品种生产过程中

产生的统计特性值服从正态分布.

1.2.1 标准变换

设统计量为 y , 定义 y 的标准变换为

$$y_T = \frac{y - \mu}{\sigma}$$

式中, 下标 T 表示“变换”.

1.2.2 3 方式的标准变换

现在按 3 方式进行标准变换, 有

$$UCL_T = \frac{UCL - \mu}{\sigma} = \frac{\mu + 3\sigma - \mu}{\sigma} = 3$$

$$CL_T = \frac{CL - \mu}{\sigma} = \frac{\mu - \mu}{\sigma} = 0, \quad > 0$$

$$LCL_T = \frac{LCL - \mu}{\sigma} = \frac{\mu - 3\sigma - \mu}{\sigma} = -3$$

由此得到标准变换后的控制图如下

$$UCL_T = 3$$

$$CL_T = 0$$

$$LCL_T = -3$$

通过标准变换后的控制图有很多优点: 所有的休哈特控制图都统一为一种图, 可事先印好, 节省大量管理费用; 控制线为直线, 便于作图, 可以判异与判稳; 适用于过程稳定的多品种小批量生产的质量控制等. 故通过标准变换的控制图可称其为“通用图”. 其缺点为: 所有进入通用图的数据都必须先作标准变换, 计算量较大. 由于“通用图”的优点远大于其缺点, 故通用图值得大力推广.

1.2.3 在“通用图”上 p 图与 np 图恒等、 u 图与 c 图恒等

1) 在“通用图”上 p 图与 np 图恒等

易证

$$P_T = \frac{P - \bar{P}}{\sqrt{\bar{P}(1 - \bar{P})/n}} = \frac{np - n\bar{P}}{\sqrt{n\bar{P}(1 - \bar{P})}} =$$

* 收稿日期: 2009-04-20

作者简介: 张昌福(1980—), 男, 福建龙岩人, 工程师, 主要从事战车底盘监制研究.

$$\frac{d - n\bar{p}}{\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}} = np_T$$

式中, d 为样本不合格数.

故上式即为

$$P_T = np_T$$

也就是说,在通用图中, P_T 图与 np_T 图恒等. 所以对休哈特 p 图与 pn 图而言,在 P_T 图与 np_T 图中应选哪一个呢? 应选项 np_T 图来作,这样可直接利用现场的不合格品数据,而不需要再去计算不合格品率.

2) 在“通用图”上 u 图与 c 图恒等

与上述类似,可证: $u_T = c_T$.

对休哈特 u 图与 c 图而言,在 u_T 与 c_T 中应选哪一个呢? 应选项 c_T 来作. 这样可直接利用现场的不合格数据,而不需要再去计算平均单位不合格品数.

1.3 通用图的优点

通用图在理论上的优点如下:

1) 在通用图上,将休图由 8 种减为 6 种.

2) 若样本量 n 变化,则休图中的 np 图、 c 图的控制线像三道万里长城,故实际上不可用. 而在通用图上却主要采用 np_T 图与 c_T 图,这样就扩大了休图的应用范围.

1.4 直接打点法

通用图直接打点法的思路

1.4.1 判异准则

判异准则有两类:

1) 点出界就判异,这就要求点的位置必须精确;

2) 界内点排列不随机(如连续 3 点中有 2 点接近控制界限、链、趋势等),这些只要求点的位置相对精确.

上述 2) 启发我们在通用图上除去原有的三根控制线 (UCL 、 α 、 LCL) 以外,再添加 4 根线,每个 一根. 这 7 根线称为标杆线:

$$K = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$$

这样,7 根标杆线就将整个通用图分成 、 、 、 ...

共 8 个区域,也即相当于为了绘制通用图将通用图打上 8 个格子,如图 1 所示.

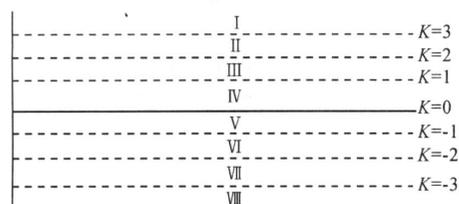


图 1 通用控制

在通用图上打点,只需要知道点落在哪个区域(即哪两条标杆线之间的格子)就可以了. 因此,需要求出与控制图上七条标杆线相对应的七个现场标杆数据,这应用标准变换公式就可得出.

1.4.2 标杆数据

与标杆线对应的现场标杆数据(简称现标数,记为 $d_{n,k}$,它实质上是样本不合格品数). 可由下式求出

$$K = \frac{d_{n,k} - \mu}{\sigma}$$

于是得到下列直接打点公式

$$d_{n,k} = \mu + K\sigma, \quad K = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$$

1.4.3 方法

应用直接打点公式需采取下列步骤:

1) 结合具体问题,将直接打点公式具体化;

2) 对直接打点公式中的总体参数进行估计;

3) 计算直接打点表,此表可由工程技术人员或管理人员应用电脑事先计算好;

4) 根据现场数据查直接打点表即可在通用控制图上直接打点.

2 实例分析

某公司 2 月份产品数据如表 1 所示,已知 $\bar{p} = 0.0389$, 试作 p 控制图与 np_T 通用控制图以进行比较.

表 1 产品数据与 p 图计算

| 组号 | 样本大小 n | 不合格品数 d | 不合格品率 p | P 图的 UCL |
|-------|----------|-----------|-----------|--------------|
| 1 | 85 | 2 | 0.024 | 0.102 |
| 2 | 83 | 5 | 0.060 | 0.103 |
| 3 | 63 | 1 | 0.016 | 0.112 |
| 4 | 60 | 3 | 0.050 | 0.114 |
| 5 | 90 | 2 | 0.022 | 0.100 |
| 6 | 80 | 1 | 0.013 | 0.104 |
| 7 | 97 | 3 | 0.031 | 0.098 |
| 8 | 91 | 1 | 0.011 | 0.100 |
| 9 | 94 | 2 | 0.021 | 0.099 |
| 10 | 85 | 1 | 0.012 | 0.102 |
| 11 | 55 | 0 | 0 | 0.117 |
| 12 | 92 | 1 | 0.011 | 0.099 |
| 13 | 94 | 0 | 0 | 0.099 |
| 14 | 95 | 3 | 0.032 | 0.098 |
| 15 | 81 | 0 | 0 | 0.103 |
| 16 | 82 | 7 | 0.085 | 0.103 |
| 17 | 75 | 3 | 0.040 | 0.106 |
| 18 | 57 | 1 | 0.018 | 0.116 |
| 19 | 91 | 6 | 0.066 | 0.100 |
| 20 | 67 | 2 | 0.030 | 0.110 |
| 21 | 86 | 3 | 0.035 | 0.101 |
| 22 | 99 | 8 | 0.080 | 0.097 |
| 23 | 76 | 1 | 0.013 | 0.105 |
| 24 | 93 | 8 | 0.086 | 0.099 |
| 25 | 72 | 5 | 0.069 | 0.107 |
| 26 | 97 | 9 | 0.093 | 0.098 |
| 27 | 99 | 10 | 0.100 | 0.097 |
| 28 | 76 | 2 | 0.026 | 0.105 |
| 2 315 | | 90 | | |

2.1 作 p 控制图

计算各组的不合格品率,见数据表第 4 栏.

计算 $UCL_p = \bar{p} + 3 \sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n} = 0.0389 + 0.580/$

\sqrt{n} , 见数据表第 5 栏.

作 p 控制图,如图 2 所示.

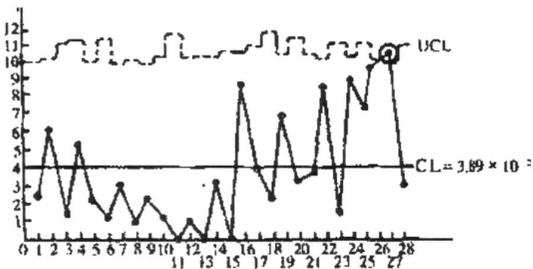


图 2 p 控制图

2.2 作 np_r 通用控制图

2.2.1 计算公式

将直接打点公式具体化为 np_r 图,即

$$d_{n,k} = \mu_{np} + K \sigma_{np} = nP + K \sqrt{nP(1-P)}$$

$$\frac{n\bar{p} + \sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}}{n}$$

式中, $K = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$.

设 $\bar{p} = 0.0389$, 在本例中, 样本量 n 最小值为 55, 最大值为 99, 故取 n 的范围为 50, 55, ..., 100, 105 (为了使直接打点表用的时间能够够长一些, 故可将样本量 n 的范围适当扩展一点. 注意, n 不能扩展太多, 否则得出的结果将不准确, 为了使直接打点表不太庞大, 样本量 n 每隔 5 取一个).

2.2.2 直接打点表

根据上式计算 np_r 图直接打点表, 如表 2 所示.

2.2.3 查表打点

根据现场数据直接查表打点. 例如, 根据数据与 p 图计算表第 1 行, 样本大小为 85, 不合格品数为 2. 于是查直接打点表中 85 这一列, 查得不合格品数 2 位于 1.5 (对应左侧的 $K = -1$) 与 3.3 (对应左侧的 $K = 0$) 之间. 因此, 在通用图中组号 1 的位置, 将点描在 $K = -1$ 与 $K = 0$ 的格子中的任何位置 (参见通用图).

2.3 对比

在本例中, 将 p 图与 np_r 通用图对比, 可见二者的性态是相同的, 判稳、判异将得出相同的结论, 但通用图要方便的多.

表 2 直接打点表 $d_{n,k}$

| K | 3 | 2 | 1 | 0 | -1 | -2 | -3 |
|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|------|
| 50 | 6.0 | 4.7 | 3.3 | 1.9 | 0.6 | -0.8 | — |
| 55 | 6.4 | 5.0 | 3.6 | 2.1 | 0.7 | -0.7 | — |
| 60 | 6.8 | 5.3 | 3.8 | 2.3 | 0.8 | -0.7 | — |
| 65 | 7.2 | 5.6 | 4.1 | 2.5 | 1.0 | -0.6 | — |
| 70 | 7.6 | 6.0 | 4.3 | 2.7 | 1.1 | -0.5 | — |
| 75 | 7.9 | 6.3 | 4.6 | 2.9 | 1.2 | -0.4 | — |
| 80 | 8.3 | 6.6 | 4.8 | 3.1 | 1.4 | -0.3 | — |
| 85 | 8.7 | 6.9 | 5.1 | 3.3 | 1.5 | -0.3 | — |
| 90 | 9.0 | 7.2 | 5.3 | 3.5 | 1.7 | -0.2 | — |
| 95 | 9.3 | 7.5 | 5.6 | 3.7 | 1.8 | -0.1 | — |
| 100 | 9.7 | 7.8 | 5.8 | 5.5 | 2.0 | 0.0 | -1.9 |
| 105 | 10.0 | 8.0 | 6.1 | 4.1 | 2.1 | 0.1 | -1.9 |

注: 由于 $d_{n,k}$ 不可能为负, 故表中每列只列出第一个负数以作估计打点之用.

3 结束语

对多品种、小批量生产过程统计质量控制方法进行了理论研究, 提出了应用“通用控制图”进行多品种、小批量产品的生产过程质量控制, 能给广大工程技术人员和质量工作者就多品种、小批量生产过程质量控制方法提供借鉴.

参考文献:

- [1] 约瑟夫. M. 朱兰, A. 布兰顿. 戈弗雷. 朱兰质量手册 [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2003.
- [2] 刘林. 应用模糊数学 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2008.
- [3] 李玉才. 质量监控原理与实践 [M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1996.
- [4] 张公绪. 现代质量管理学 [M]. 北京: 中国财政经济出版社, 1999.
- [5] 李爱民, 陈亮, 彭耀辉. 控制图在装备维修质量控制中的应用 [J]. 四川兵工学报, 2009(1): 58 - 60.
- [6] 杨旭, 马玉林, 杨晓慧. 基于小批量生产的统计质量控制 [J]. 计算机集成制造系统, 2001(12): 62 - 64.

(上接第 111 页)

参考文献:

- [1] 陈云鹤. 可靠性与维修性工程 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.

- [2] 金星, 洪延姬. 系统可靠性与可用性分析方法 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [3] 汪荣鑫. 随机过程 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2006.
- [4] 金星, 余浩章, 李永. 大型网络系统可靠度计算新方法 [J]. 系统仿真学报 [J], 2001, 13(4): 432 - 433.