

SQC-4

统计质量控制

STATISTICAL QUALITY CONTROL

控制图

Control chart

陈国铭 主编

崔廷铨 编

中国石化出版社

SQC-4

统计质量控制

STATISTICAL QUALITY CONTROL

控制图

Control chart

陈国铭 主编

崔廷铨 编

中国石化出版社

(京) 新登字 048 号

内 容 提 要

本册为《统计质量控制》丛书的第四分册，它包括五方面的内容：休哈特控制图的基本原理；各种常规控制图的计算方法及几种特殊控制图的计算方法；控制图的分析方法和判断异常的准则；控制图的 OC 曲线及检出力分析；累积和控制图。详细介绍了各种累积和图参数的计算方法。

本书是为石油化工企业质量管理人员、工程技术人员的学习而编写的，也可作为有关大专院校师生及其他行业的工程技术人员阅读。

SQC-4
统计质量控制
STATISTICAL QUALITY CONTROL
控制图
Control chart
陈国铭 主编
崔廷铨 编

*
中国石化出版社出版发行
(北京朝阳区太阳宫路甲 1 号 邮政编码：100029)
煤炭工业出版社印刷厂排版
中国纺织出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所经销

*
850×1168 毫米 大 32 开本 6 印张 158 千字 印 1 - 6400
1995 年 3 月北京第 1 版 1995 年 3 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-80043-557-1/O · 022 定价：7.00 元

中国石油化工总公司质量管理协会组织编写

生产技术顾问：张德义

统计技术审核：王经涛

主 编：陈国铭

副主编：张祖荫 郭耀曾

编 委（按姓氏笔划）：李世英 陈国铭 杨丽春

张祖荫 饶上建 郭耀曾 崔廷铨

其他编辑校核人员：万 涛 刘秋萍 吕巧云

邱以玲 田从金

序 言

为了适应国际贸易往来和经济合作的要求，国际标准化组织经过十多年的努力，于1986和1987年相继正式发布ISO8402《质量——术语》标准和ISO9000质量管理和质量保证系列标准，将世界多年质量管理的经验进行了标准化。ISO9000系列标准的基本点是要求企业在生产过程中建立有效的质量保证体系，并对质量体系中相互关联、相互作用的若干要素进行有效的控制。在过程质量控制中，科学、有效方法之一就是数理统计方法。因此在ISO9000系列标准的各个模式中以及质量管理和质量体系要素指南中都要求在市场分析、产品设计、工序控制、性能评定、数据分析等方面广泛使用统计技术，其范围包括实验设计、方差分析、显著性检验、累积和控制图、抽样检验等技术。因此，研究学习统计质量控制技术对于贯彻ISO9000质量保证系列标准，提高科学管理水平是非常必要的。

回顾世界质量管理的发展史，可以看出，数理统计技术在质量管理中发挥了重要作用。从19世纪末到现在，质量管理在历史上经过了检验质量管理、统计质量控制和全面质量管理三个阶段。单纯检验质量管理的严重缺点：一是只能从产品中发现和挑出废品，事前预防功能不强；二是由于检验人员的差错，即使全数检验也可能漏检或错检；三是至关重要的破坏性试验不可能全数进行。产品是生产出来的，单靠检验是不能防止产生废品的。1924年美国贝尔研究所的休哈特(W. A. Shewhart)运用数理统计的原理提出了控制生产过程中的“ 6σ ”方法，即后来发展的质量控制图和预防缺陷的概念。与此同时，同属贝尔研究所的道奇(H. E. Dodge)和罗米格(H. G. Romig)联合提出了在破坏性试验情况下采用的“抽样检验表”。二次大战初期，美国大批民用

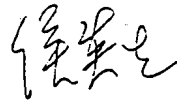
品转入军工生产,由于事先无法控制废品而不能满足交货期要求,又由于军工生产多属破坏性试验,全数检验不可能也不允许。美国国防部为了解决这一难题,邀集休哈特、道奇、罗米格以及美国材料与试验协会、美国标准协会、美国机械工程师协会等有关人员研究,于1941~1942年先后公布一系列“美国战时质量管理标准”,要求各公司普遍实行统计质量控制方法,结果半年内取得显著成效。后来统计质量控制取得了很大发展。

我国自从1978年从日本引进全面质量管理十多年取得了显著成效。纵观我国的质量管理发展历史,是由检验质量管理直跃全面质量管理,对数理统计方法的运用远不是像当年美国那样深入广泛,不少决策、设计、科研、生产、销售、服务部门在提出问题、解决问题、检查结果时有些人还不习惯于进行科学的数理解析。

为了普及数理统计基本知识并在生产实际中发挥作用,我们组织石化行业中具有实践经验的质量管理专家编写了这套《统计质量控制》系列丛书。本书共分十册,第一册是数据收集和整理,第二册概率和数理统计基础,第三册估计和检验,第四册控制图,第五册方差分析,第六册实验设计,第七册相关和回归分析,第八册抽样检验,第九册统计方法应用演示50例,第十册数表。

数理统计方法就是通过对生产实践中大量数据的收集、整理、解析,研究生产实际中的内在规律的数学方法。和目前国内其它有关数理统计的书籍相比,本系列丛书的显著特点:一是它不同于一般的数学教科书,特别突出了实际应用,因此在编写中尽量减少不必要的公式推导,是一本实用性较强的书籍;第二个特点是书中列举了大量社会和生产(特别是石油化工生产)实例,文章从实例引出理论,又从理论回到实例,便于读者理解和应用,适合于工业企业特别是石油化工等流程型行业设计、研究、生产、销售、辅助等系统技术人员和管理干部学习参考;三是语言既通俗易懂,又有一定深度和广度,既可用于中等水平人员学习应用,又可适用于高等水平技术人员研究参考。

为了更好应用本书，建议学习中注意几点：一是随着计算机的高度发展，许多数理统计方法可完全不需用手工计算，即可很快得出结果，已经掌握了统计方法的人可直接借助计算机，但对于初学之人，还是先用手算为好，防止知其然而不知其所以然，不利于在实践中灵活运用；二是对于现场技术人员，不要去深究公式推导，只要求会实际灵活运用；三是统计方法只提供解决问题的手段，必须和固有技术相结合才能解决问题，因此要使读者学会用数学的思维考虑专门技术问题；四是质量管理所用的方法不限于数理统计方法，还包括许多其它方法，如价值分析（VA）、生产工学（IE）、操作研究（OR）、价值工程（VE）、可靠性工程（RE）等，本书这次没有列入，读者可根据需要深入研究，灵活运用。



1995年1月

引 言

石化产品属于流程型材料 (*process material*)，生产是在装置中进行的，人们对生产装置的日常工序控制，是凭藉装置上各种仪表及记录器所指示的工艺参数值，操作者根据这些工艺参数值，对生产装置进行工序控制。在实施控制中，需要了解以下情况：

- (1) 在连续生产过程中，有无急剧的变化；
- (2) 有无变化的征兆；
- (3) 和规定值相比，有无越出控制范围的异常值。

通常，操作人员是依靠专业知识和经验来判断这些情况的。不仅石化产品生产是这样，其他类型工业产品生产也大体如此。依靠经验进行判断往往有时失误，于是需要寻找其他手段来帮助人们进行判断，控制图 (*control chart*) 就是其中之一。上述在工序控制中需要了解的三方面情况，都能在控制图上得到。利用控制图可以减少失误，使判断更为准确。由于控制图比较简单，所以在世界各国，各工业领域得到广泛地应用。1983年12月日本名古屋工业大学对111家日本企业调查，平均每个企业使用137张控制图；美国柯达公司彩色胶卷部有雇员5000人，制订35000张控制图，平均每人7张。据美国哈林顿 (H. J. Harrington) 博士介绍，总部设在美国旧金山的一石油公司，规定下属炼油厂必须使用控制图。他说，虽然控制图和装置上某些仪表指示是重复的，但这种重复是值得的。上海石化总厂引进的美国杜邦公司化纤生产线，计算机软件中就有累积和控制图 (*cusum chart*)。国际标准化组织1991年公布的ISO/CD9004—4:91《质量管理和质量体系要素——第四部分 质量改进指南》标准，列举了11种供选用的工具和技术，控制图技术就是其中之一，足见控制图技术在质量控制和质量改进中的重要地位。有的石油化工企业在工序控制中

也使用控制图，但还不十分普遍。而且在使用中还存在着许多问题，如控制图的计算控制界限已越出公差界限；工序在控制状态，而工序能力却很低等等。因此进一步加深对控制图原理的理解，掌握控制图的使用方法，是十分必要的。本册着重介绍一些适合石化企业的控制图的理论及应用技术。

目 录

引 言

1	休哈特控制图的基本原理	1
1.1	质量的波动性	1
1.2	控制图的原理	3
1.3	控制图的种类	8
2	控制图的计算方法	11
2.1	控制图的计算方法	11
2.2	几种特殊计量值控制图的计算方法	55
3	控制图的分析方法	75
3.1	生产过程变化在控制图上的表现	75
3.2	控制图的数理	77
3.3	判断异常的准则	83
4	控制图的使用	90
4.1	分析用控制图	90
4.2	管理用控制图	97
5	控制图的两类错误和检出力的计算	104
5.1	\bar{x} 控制图两类错误的因素分析	104
5.2	R 控制图两类错误的因素分析	114
5.3	$\bar{x}-R$ 图第 II 类错误计算	115
5.4	计数值控制图的 OC 曲线	120
6	累积和控制图	123
6.1	累积和图的形成	124
6.2	监控均值变化计量值累积和控制图	129
6.3	监控样本方差累积和图	146
6.4	计数型累积和图	153

6.5 累积和控制图与休哈特控制图的异同·····	165
本册使用符号·····	170
习 题·····	173
参考文献·····	177

1 休哈特控制图的基本原理

休哈特 (W. A. Shewhart) 是一位美国著名质量管理专家, 曾在美国贝尔电话试验室任质量检验部负责人, 1924 年他利用费歇 (Fisher) 建立的统计推断学, 创立了控制图。控制图的发明, 奠定了统计质量控制的基础。由于这种理论从经济上考虑不充分, 未能得到广泛运用。直到 40 年代, 战争对军需品的大量需求, 而当时的产品质量和数量都不能满足需要, 这时统计工序控制开始受到人们重视, 美国军方根据休哈特控制图法, 编制了军用标准 ASA Z1.1—1941 质量控制指南, ASA Z1.2—1941 数据分析的控制图法, ASA Z1.3—1942 工业生产中质量控制的控制图法, 予以公布, 从此控制图得到广泛运用, 成效显著。战后这些标准又传入英国和欧洲, 以及加拿大、澳大利亚, 50 年代引进到日本得到普及, 并制订了 JIS—Z9021 控制图标准。随着全面质量管理在我国的推广, 控制图在我国也得到普及, 并且颁布了 GB4091 常规控制图系列标准。

经过几十年发展, 控制图技术又有所创新, 50 年代柏齐 (Page) 发明了累积和控制图, 80 年我国学者张公绪发明选控图 (*slection control chart*), 除此还有各种特殊控制图, 使控制图不仅适用于各工业部门, 甚至于其他领域 (如服务、各种管理) 也都使用了控制图。

1.1 质量的波动性

工业生产中, 工序加工的目的是生产符合技术要求的产品。但是, 在生产过程中, 无论什么种类产品, 无论是大批量生产, 还是小批量生产, 无论是机械化生产, 还是手工操作, 产品质量总是在波动。一个石化生产装置, 同样的原料、同样的工艺参数、同一批操作人员, 装置馏出口的产品质量特性不会完全一样, 存在

着差异，这种现象反映出产品质量具有波动的特点。造成这种波动的原因主要来自五个方面：人（*Man*）、机器（*Machine*）、材料（*Material*）、方法（*Method*）和环境（*Environment*），由于这五个因素英文名称的第一个字母是 *M* 和 *E*，所以简称为 4M1E。

产品质量的波动是产品质量自然存在的现象，公差就是对波动大小所作的限制。我们可把造成产品质量波动的原因（或称因素）归结为两类。一类是经常起作用的因素，经常起作用的因素数目较多，还具有偶然性，而且也不易识别，这类因素从技术上难以消除，经济上也不值得消除。他们对产品质量波动影响不大，这类原因称为正常因素，所引起的产品质量波动属于正常波动。例如石化工业生产装置的工艺条件（温度、压力、流量、液面）在允许范围内的波动；蒸汽和压缩空气压力的微小波动；原料油性质和所含微量杂质的微小差异；仪表控制回路的正常控制误差；机械加工中机床的轻微振动；刀具的正常磨损等等就属于正常因素。这些因素产生的波动都属于正常波动，正常波动是服从统计规律的，一般服从正态分布。

另一类因素是异常因素，它们在生产过程中少量存在，并且对产品质量不经常起作用。这类因素往往是可以避免的。例如装置的工艺条件由于仪表回路失控引起的大幅度变动；原料的性质显著变化等，这类因素又称系统性因素。系统性因素对产品质量指标散差影响很大，并且它是不稳定的，没有统计规律。

根据上面的分析，可以得出两点结论：

- (1) 产品质量总是在波动之中；
- (2) 产品质量波动的统计规律是可以掌握的，虽然正常波动和异常波动是交织在一起，而正常波动是有统计规律的，如一旦出现异常波动，就必然使波动偏离原来的分布，利用统计技术就可以发现偏移。

1.1.1 产品质量的随机性

一个工艺条件，或者一个产品质量特性值，往往可以由一个或几个指标来表征，如反应温度和塔顶温度可用 $^{\circ}\text{C}$ 表示，氮肥的

含氮量用%表示, 润滑油粘度用 mm^2/s 表示, 机械零件的几何尺寸用 mm 表示。在上面已经提到, 表征产品的质量指标, 既决定于可以控制的系统因素, 又决定于大量不能控制的偶然因素, 因此它们的取值带有随机性, 在期望值上下波动, 是一个随机变量。

假设 X 是表征某一产品质量特性的随机变量, 当生产过程处于稳定状态时(即生产过程中没有系统性因素引起的异常波动) X 一般服从或近似地服从正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$ 。石化工业大部分产品也是遵从这个统计规律的。每经过一段时间, 对 X 进行一次测量, 得到 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_K$ 共 K 个测量结果。 x_1, x_2, \dots, x_K 是来自同一总体的随机样本。根据这些样本值, 分析和判断生产过程是否稳定, 而 x 又可用 μ 和 σ 两个数据特征值来表征。因此对生产过程的质量控制问题, 就转化为对参数 μ 和 σ 的控制问题。

在生产过程中, 通过检验样本特征值来实施控制。在本丛书第三册《估计与检验》中, 已详细介绍了统计检验。假设检验就是以样本为依据, 研究总体的参数 μ_0, σ_0^2 是否有显著变化, 即

统计假设 $H_0: \mu = \mu_0$ 和 $H_0: \sigma = \sigma_0$

我们现在是利用控制图来处理统计假设的检验问题。控制图常用的样本统计量有样本的均值 \bar{x} 、样本的中位数 \tilde{x} 、样本的标准差 \sqrt{V} 、样本的极差 R 等。在控制图上, 通过样本的统计量落在控制图中的位置来判断是接受或者拒绝原假设。样本统计量落在控制界限内(接受域), 接受原假设, 原假设成立, $\mu = \mu_0, \sigma = \sigma_0$ 。若样本落在控制界限外(拒绝域), 拒绝原假设, 说明产品质量已发生偏移。

所以控制图是统计检验的另一种形式。

1.2 控制图的原理

1.2.1 3 σ 原则

在研究连续随机变量中已得出如下结论:

当随机变量 X 服从正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$, 则事件 $\mu - 3\sigma < x < \mu + 3\sigma$ 发生的概率是 0.9973。这一结论告诉我们。不论 μ 和 σ 是何数值, 产品质量计量值在 $\mu - 3\sigma$ 与 $\mu + 3\sigma$ (或者说在 $\mu \pm 3\sigma$) 界

限之间出现的可能性大小(即概率)为 99.73%, 在 $\mu \pm 3\sigma$ 界限之外出现的概率为 $100\% - 99.73\% = 0.27\%$ (参见图 1-1)。也可从另一角度来理解, 如果测量 1000 个产品的质量特性值, 则可能有 997 个左右产品的质量特性值落在 $(\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma)$ 的界限内, 这几乎是肯定的事。

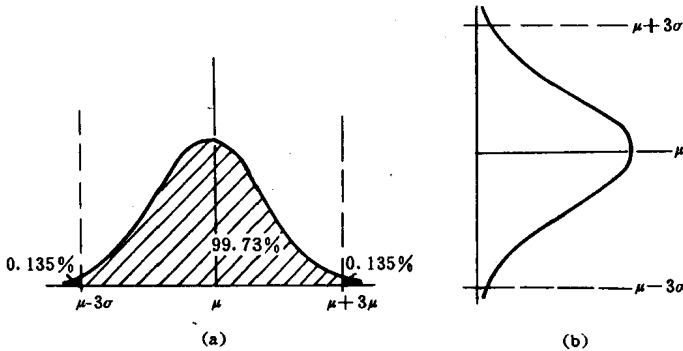


图 1-1

我们将图 1-1 (a) 旋转 90° 成为图 1-1 (b), 以平均值 μ 为中心, 在 $\mu \pm 3\sigma$ 处各画两条控制界限 (control limit), 就成为控制图。控制图由三条水平线构成, 中间一条线 (μ 线) 叫做中心线 (central line), 记以 CL; 上边一条线 ($\mu + 3\sigma$ 线) 叫做控制上限 (upper control limit), 记以 UCL; 下边一条线 ($\mu - 3\sigma$ 线) 叫做控制下限 (lower control limit), 记以 LCL。

什么是控制图, GB4091.1 标准称: “控制图是生产过程质量的一种记录图形, 图上有中心线和上下控制界限, 并有按时间顺序抽取的各样本统计量的数值。”

控制上限、中心线和控制下限的一般计算式为:

$$CL = E(X)$$

$$UCL = E(X) + 3\sqrt{D(X)}$$

$$LCL = E(X) - 3\sqrt{D(X)}$$

在制作控制图时, 怎样计算控制上限、中心线、控制下限, 在

以后介绍各种类型控制图时，将详细介绍。

目前，世界上大多数国家都采用 3σ 界限。英国等欧洲少数国家采用“概率界限”，这种方式是事先规定超出一侧管理界限的概率，人为地定为 1%、2.5% 和 5% 等数值，然后反过来依据正态分布原理求出控制界限的位置。按 1% 超出一侧管理界限的概率所确定的控制界限位置，和按 $\mu \pm 3\sigma$ 确定控制界限差别是极少的。

1.2.2 两类错误

1) 简单的单值控制图

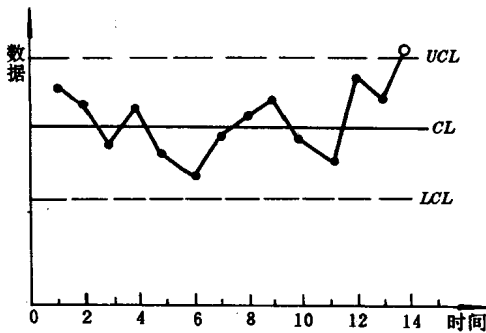


图 1-2

图 1-2 是某化工产品重量单值控制图。画法是每隔一段时间，抽取一个产品，编号测试重量，然后将不同序号的产品重量数据点在图上，为了看出点子的趋势，用直线把这些点连接起来，从而显示了产品质量变化的动态过程。

使用控制图是基于以下两点假设：

a. 假定生产过程正常时，按 $\pm 3\sigma$ 控制控制图中的点越出控制界限的概率只有 2.7%，是一个很小的概率值；

b. 假定生产过程异常时，控制图中的点越出控制界限的概率大大增加。

基于上述两点假设，在实际使用控制图时，也会犯错误。

根据假设 a，控制图中的点越出控制界限的概率只有 2.7%，会导致犯第 I 类错误。根据统计检验方法，如果抽样结果是小概

率事件,拒绝假设;若抽样结果不是小概率事件,则接受假设。因此,在控制图中,一旦有点子越界,我们就判断有异常。在图 1-2 中,第 14 个点越出了控制界限,我们不认为是由于正常散差造成的,而是生产过程中有了异常,

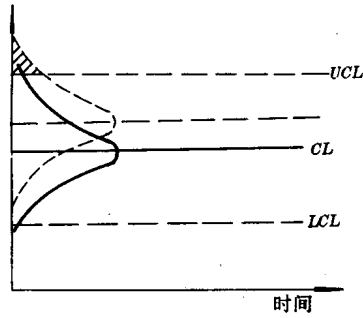


图 1-3

如计量器发生偏差,人的疏忽而造成多装而超重等等。 2.7% 这数值虽然很小,但这类事件总还不是绝对不会发生,在工序处于正常的情况下,当进行大量观察时,也会出现“点子偶然出界”的情况,若据此判断工序异常,就会错判,错判的概率是 0.0027 , 统计学将这种正常情况判为不正常的错误称为第 I 类错误,用 α 表示错判的概率。事实上,工序如果确实有系统因素存在,例如使分布中心向上偏移,那以分布曲线越出控制上限的那部分面积远远大于 1.35% , 点子将频繁越界,见图 1-3 阴影面积。

另一方面,若工序已发生偏移,但在管理图上,点子仍落在控制界限之内,因而判断生产过程仍处于控制状态,而犯漏判的错误,统计学称这种错误为第 II 类错误。第 II 类错误发生的概率记为 β 。如图 1-4 (a) 和图 1-4 (b)。图 1-4 (b) 为 UCL 向右移,控制界线加宽了,但图中阴影面积加大了,即第 II 类错误概率增加了。控制图两类错误的计算,在本册第 5 章中将详细讨论。

控制图是用图形来实现统计检验,既然是统计检验,就必然会犯这两类错误。不过根据 $\mu \pm 3\sigma$ 所设置的控制界限,犯第 I 类错误的概率是很小的,只有 0.0027 , 尽可放心使用。

有的化工企业,在某些工序,用 $\mu \pm 2\sigma$ 作为控制界限,由于控制界限缩小了,因此犯第 I 类错误的概率是减少了,而犯第 II 类错误的概率增加了,此时 $\alpha=0.0455$ 。反之,为了减小第 I 类错误的概率,把控制界限放宽到 $\mu \pm 4\sigma$, $\alpha=0.006\%$, 但第 II 类错误