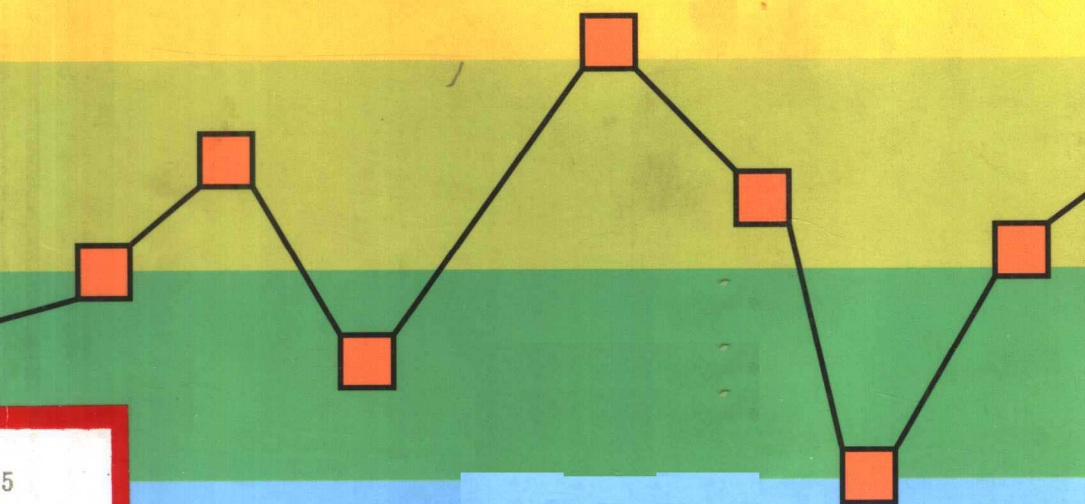


常规控制图 标准及其应用

孙 静 张公绪 著



5

中国标准出版社

常规控制图标准及其应用

孙 静 张公绪 著

中国标准出版社

常规控制图标准及其应用

孙静 张公绪 著

责任编辑 朱晓滨

*

中国标准出版社出版

北京复兴门外三里河北街16号

邮政编码:100045

电话:68522112

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/32 印张 5 $\frac{1}{8}$ 字数 165 千字

2000年7月第一版 2000年7月第一次印刷

*

ISBN 7-5066-2213-0/TB·653

印数 1—4 000 定价 22.00 元

作者简介

孙静博士 接近零不合格品过程的质量控制与诊断专家。自 1997 年以来,孙静博士提出了接近零不合格品过程的判稳准则、判异准则,取得了基于相邻不合格品之间的连续合格品数 CUSUM 控制图和 EWMA 控制图,标准调整型控制图等多项具有国际水平的研究成果。孙静还主编和撰写了《现代质量管理学》、《现代质量控制与诊断工程——21 世纪技术工程师与质量工程师必读》、《新编质量管理学》、《两种质量诊断理论及其应用》等教材和专著。

张公绪教授 北京科技大学管理科学研究所博士生导师,国家科技进步奖获得者(因两种质量诊断理论而获奖),中国质量管理协会常务理事兼学术委员会副主任,香港品质管理协会名誉顾问,英国全面质量管理杂志国际编委会委员,印度国家科技发展研究院评审委员会委员,丹麦奥胡斯工商管理研究生院全面质量管理系客座教授,韩国汉城国立大学计算机与统计系客座教授。张公绪教授 1980 年提出选控图系列,1982 年提出两种质量诊断理论,突破了传统的美国休哈特 SPC(统计过程控制)理论,从此 SPC 上升为 SPD(统计过程诊断);1986 年提出两种质量多元诊断理论,1998 年又提出相关单因素多元诊断理论,居世界领先水平。张公绪教授主持编制的软件 DTTQ 2000 与 SPCD 2000 是迄今世界上唯一具有统计诊断功能的软件。张公绪教授等提出的通用控制图于 1986 年制定为国家标准 GB/T 6381—1986。张公绪教授主编的高校教材《质量管理学》于 1995 年获得国家教委教材一等奖。1996 年,张公绪教授为台湾高校主编了教材《品质管理》,该教材是大陆学者为台湾主编管理教材的第一本。

序 言

为了贯彻预防原则,美国休哈特(W. A. Shewhart)首创过程控制理论以及控制过程的工具——控制图,现今统称之为 SPC(statistical process control,统计过程控制)。

1. SPC 理论的缘起

20 世纪 20 年代美国贝尔电话实验室(Bell Telephone Laboratory)成立了两个研究质量的课题组,一为过程控制(process control)组,学术领导人为休哈特(W. A. Shewhart);另一为产品控制(product control)组,学术领导人为道奇(H. F. Dodge)。其后,休哈特提出了过程控制理论以及控制过程的具体工具——控制图(control chart);道奇与罗米格(H. G. Romig)则提出了抽样检验理论和抽样检验表。这两个研究组的研究成果影响深远,在他们之后,虽然有数以千计的论文出现,但至今仍未能脱其巢臼。休哈特与道奇是统计质量控制(statistical quality control, SQC)的奠基人。1931 年休哈特出版了他的代表作:《工业产品质量的经济控制(Economical Control of Quality of Manufactured Products)》。这标志着统计过程控制(SPC)时代的开始。

2. 休哈特的贡献

休哈特的贡献就在于:应用他所提出的过程控制理论能够在生产线上保证预防原则的实现。在产品的制造过程中,产品质量特性值总是波动的。休哈特将波动分成两大类,即偶然波动(简称偶波)与异常波动(简称异波)。偶波由偶然因素(random cause,简称偶因)造成,异波由异常因素(assignable cause,简称异因,也称系统因素)造成。前者是过程所固有的,在生产过程中始终存在,不可避免,但对产品质量影响微小,相当于背景噪音,可以听之任之;后者是非过程所固有的,对产品质量影响大,在生产过程中时有时无,但却是可以避免的。因此,在生产过程中,需要关注的就是产品质量的异常波动。应用控制图能够及时发现

过程的异常波动,当发现异常波动后需要尽快采取措施除去异因,并保证它不再出现。如此逐个除去异因,最终可以达到变异只由偶因而无异因造成的状态,称为稳定状态(state in control,简称稳态)或统计控制状态(state in statistical control)。稳态是生产追求的目标。在稳态下生产,对于产品的质量有绝对的把握,而且生产是最经济的。从统计角度看,在稳态下,质量变异也是最小的,故 SPC 总以稳态为基准来进行控制。若一条生产线的所有工序都达到稳态,则称之为全稳生产线。SPC 之所以能够实现全过程的预防所依靠的就是全稳生产线。

3. 三个发展阶段

从 1930 年起至 1980 年为 SPC 的发展阶段。由于 SPC 对过程的异常只能告警,而不能诊断,故从 1980 年起又发展出 SPD (statistical process diagnosis,统计过程诊断)阶段。再进一步发展,就是诊断后的调整。故从 1990 年起再发展出 SPA (statistical process adjustment,统计过程调整)。对于 SPA,国外也称之为算法的统计过程控制(arithmetic statistical process control)。在以上三个阶段中,SPC 早已进入实用阶段并得到广泛使用,SPD 已开始进入实用阶段,SPA 则尚无实用性成果。SPC 发展到 SPA 阶段就形成了一个闭环,周而复始,循环不已,不断改进。

4. 推行 SPC 与 SPD 势在必行

在推行 SPC 方面,美国和日本的经验教训值得借鉴。二三十年代休哈特创建了 SPC 理论,当时美国处于经济萧条时期,休哈特的理论一时无人问津。直至第二次世界大战中,由于军工质量的迫切需要,休哈特理论才受到重视,为保证美国的军工质量作出了突出的贡献,战后遂风行全世界。由于美国本土未受到第二次世界大战战火的影响,故在战后国际贸易的初始阶段,美国得以遥遥领先,无国际市场竞争的压力。于是 SPC 这种先进的科学方法逐渐从美国消失。反之,战后经济遭受严重破坏的日本为了生存,不得不重视产品质量,1950 年与 1952 年两次邀请美国戴明(W. E. Deming)博士前往日本介绍 SPC,以后在 1954 年又邀请美国朱兰(J. M. Juran)博士去日本专门培训高层经理,让他们了解和支持质量管理和 SPC。从 1950 年到 1980 年,经过 30 年

的努力,日本终于跃居世界质量与劳动生产率的领先地位。1980年日本与美国间的贸易发生了戏剧性的变化,即日本对美国的贸易由入超变为出超,而美国对日本的贸易则由出超变成入超,这一事实引起西方国家,尤其是美国大为震惊,纷纷调查日本究竟是怎么翻身站起来的。美国质量管理专家、依阿华州立大学(Iowa State University)伯格(R. W. Berger)教授指出,日本成功的原因很多,但一个很重要的原因就是日本认真推行了SPC并且加以发扬光大。为此,美国和其他一些西方国家,在民品方面,从1980年起发起了一场SPC复兴的运动,将SPC称为高科技(high-tec),一直到1994、1995年美国才终于弥补了与日本间的质量差距。从日本和美国的历史经验教训可得出结论:推行SPC、SPD势在必行。我国从1979年起,大规模推行全面质量管理(total quality management, TQM),20年来,成绩巨大,但其主要缺点就是形式主义严重。我们知道质量管理这门学科有一个十分重要的特点,即对于质量管理提出的原则、方针、目标都要有科学措施与科学方法(主要即统计方法)来保证它们的实现,这是质量管理学科科学性的具体体现。所谓“形式主义”就是只提出质量管理的原则、方针、目标,而没有采取任何科学措施与科学方法(主要即统计方法)来保证它们的实现,流于形式。国外工业发达国家无一例外地都大力推行SPC、SPD正是避免形式主义,把质量落在实处的有力措施。必须强调指出,大力推行SPC、SPD是我国今后推行全面质量管理的重要措施之一。

5. 控制图是SPC与SPD的主要工具

在SPC与SPD这些质量科学中,控制图是主要工具。1924年5月16日休哈特提出了世界第一张控制图,即不合格品率(p)控制图,以后逐渐发展成为休哈特控制图体系,简称休哈特图或休图,也称为常规控制图或常用控制图。1983年我国颁布了国家标准GB/T 4091—1983《常规控制图》;1991年国际标准组织颁布了国际标准ISO 8258:1991

Shewhart control charts(休哈特控制图)。到目前为止,休图是全世界应用最广泛的控制图。

6. 本书内容

要推行SPC、SPD,首先就要推行休哈特控制图,即常规控制图,作

为起步。而要推行休哈特控制图就有必要了解休图的国家标准 GB/T 4091—1983 和国际标准 ISO 8258:1991。为了使读者了解、掌握、应用常规控制图,中国标准出版社特组织作者撰写《常规控制图标准及其应用》一书,其内容主要包括下列四部分:

(1) 本书第 1 章至第 6 章为控制图基本原理。其中包括:休哈特控制图与通用控制图(已于 1986 年发布为国家标准 GB/T 6381),常见错误概念、模糊概念的纠正,对上述两个国家标准的评论和建议以及控制图理论最新进展的简介等内容,以便把读者引导到本学科的最前沿,与现代质量科学接轨。

(2) 本书第 7 章为国家标准 GB/T 4091—1983《常规控制图》的摘要。我们略去了其中的例题、简单数表和数据表格,并在需要处增添了编者注。

(3) 本书第 8 章为译注国际标准 ISO 8258:1991 Shewhart control charts(休哈特控制图)。我们一方面直译,忠于原著,另一方面又在需要处加以注释与评论,尽量使读者便于理解。

(4) 现今推行 SPC 与 SPD 都必须结合电脑,进行现场实时控制与诊断,故本书第 9 章介绍了这方面有关的软件。

7. 本书特点

本书具有下列特点:

(1) 新颖性 本书内容不仅仅限于介绍控制图的经典理论和现有的国家标准、国际标准,而且还包括控制图理论的新进展,对上述国家标准、国际标准的评论与建议等内容,把读者带到学科的最前沿,故称得上是内容新颖。

(2) 完备性 本书内容包括控制图的基本内容,从原理、案例、标准到软件,内容齐全,便于查找,一览无余。

(3) 可操作性 本书既有丰富的例题,又有国家标准与国际标准,读者可循例运行,加以操作,方便实用。

读者有了本书,一书在手便可掌握控制图从原理、案例、标准到软件的基本内容,一览无余,当会感到非常方便,岂不快哉!

8. 本书读者对象

本书是一本实用的工具书,其读者对象为:企业生产人员与管理人员,大专院校管理专业的大学生、研究生与教师等。

9. 致谢

在本书的编撰过程中,得到中国标准出版社责任编辑朱晓滨女士的大力支持,谨此表示衷心的感谢。本书作者也感谢在成百遍讲授“SPC 与 SPD 工程”课程中的广大学员,他们向我们提出了许多问题与建议,这些都促使作者得以深入地思考本书的各项内容,获益匪浅。因此,作者也诚挚地期望本书的广大读者提出宝贵意见,以便作者进一步改进本书的内容。因为任何一本有价值的图书都是千锤百炼、不断进行质量改进的结果。谨此致谢。

为便于读者与作者进行联系,现将作者的地址写在下面:

孙静:100084 北京兰旗营清华大学经济管理学院

电话:010-62772087, 传真:010-62784555, E-mail: sunj3 @em.
tsinghua.edu.cn

张公绪:100083 北京学院路 30 号北京科技大学管理科学研究所

电话:010-62334002, 传真:010-62322033

作者高兴的是恰在世纪之交、千年之禧的日子完成本书,令人格外感到欣慰和有意义。

清华大学经济管理学院 孙 静
北京科技大学管理科学研究所 张公绪

2000 年 1 月元旦

目 录

第 1 章 统计过程控制(SPC)与统计过程诊断(SPD)导论	1
1.1 质量管理与质量控制的重要性	1
1.2 SPC(统计过程控制)理论的发展	2
1.3 SPD(统计过程诊断)理论的发展	7
1.4 SPA(统计过程调整)理论的发展	10
1.5 结语	10
1.6 本章参考文献	11
第 2 章 控制图原理	12
2.1 控制图的定义	12
2.2 控制图的重要性	13
2.3 产品质量的统计观点	13
2.4 控制图原理基础知识	15
2.5 控制图原理的第一种解释	21
2.6 控制图原理的第二种解释	22
2.7 控制图贯彻预防原则的方法	23
2.8 稳态	24
2.9 两种错误	26
2.10 3σ 方式	27
2.11 本章参考文献	28
第 3 章 控制图的判断准则	29
3.1 分析用控制图与控制用控制图	29
3.2 休图的设计思想	32

3.3	判稳准则	32
3.4	判异准则	34
3.5	本章参考文献	39
第4章	常规控制图	40
4.1	常规控制图简介	40
4.2	应用控制图需要考虑的一些问题	44
4.3	$\bar{x}$ - R 控制图	46
4.4	$\bar{x}$ - s 控制图	56
4.5	控制界限与规格界限之间的关系	60
4.6	p 控制图	60
4.7	计量值控制图与计数值控制图的比较	65
4.8	本章参考文献	66
第5章	通用控制图	67
5.1	引论	67
5.2	标准变换与通用图	67
5.3	直接打点法	68
5.4	p_T (通用不合格品率)控制图和 pn_T (通用不合格品数) 控制图	70
5.5	c_T (通用缺陷数)控制图和 u_T (通用单位缺陷数)控制图	72
5.6	本章参考文献	73
第6章	过程能力与过程能力指数	74
6.1	过程能力	74
6.2	过程能力指数	74
6.3	C_p 和 C_{pk} 的比较与说明	78
6.4	摩托罗拉公司的 6σ 管理方式简介	81
6.5	本章参考文献	83

第7章 常规控制图的国家标准摘要	84
7.1 GB/T 4091.1—1983《常规控制图总则》.....	84
7.2 GB/T 4091.2—1983《均值-标准差控制图($\bar{x}$ - s 图)》.....	92
7.3 GB/T 4091.3—1983《均值-极差控制图($\bar{x}$ - R 图)》.....	97
7.4 GB/T 4091.4—1983《中位数-极差控制图($\tilde{x}$ - R 图)》.....	101
7.5 GB/T 4091.5—1983《单值-移动极差控制图($\bar{x}$ - R_s 图)》...	105
7.6 GB/T 4091.6—1983《不合格品率控制图(p 图)》.....	108
7.7 GB/T 4091.7—1983《不合格品数控制图(pn 图)》.....	111
7.8 GB/T 4091.8—1983《单位缺陷数控制图(u 图)》.....	113
7.9 GB/T 4091.9—1983《缺陷数控制图(c 图)》.....	116
 第8章 ISO 8258:1991 Shewhart control charts(休哈特控制图)译注	119
序言.....	119
休哈特控制图.....	120
 第9章 有关控制图的软件	161
9.1 推行控制图必须应用电脑	161
9.2 推行SPC和SPD对软件的要求	161
9.3 SPC与SPD软件简介	163
9.4 本章参考文献	173

第 1 章 统计过程控制(SPC)与 统计过程诊断(SPD)导论

本章主要介绍统计过程控制(statistical process control, SPC)与统计过程诊断(statistical process diagnosis, SPD)的重要性及其发展简况。

1.1 质量管理与质量控制的重要性

21 世纪已经来临。正如美国质量管理专家朱兰(J. M. Juran)1994 年在美国质量管理学会年会上所说,20 世纪以“生产力的世纪”载入史册,未来的 21 世纪是“质量的世纪”。质量将成为新世纪的主题,我们必须迎接它的挑战。朱兰能够作此科学的论断是有其科学根据的。

近一二十年来,科学技术的发展越来越迅速。例如,电子产品的不合格品率已由过去的百分之一(10^{-2})、千分之一(10^{-3}),降低到百万分之一(10^{-6})、乃至十亿分之一(10^{-9})的水平。过去实行 3σ 控制原则,在稳态下的不合格品率为 2.7×10^{-3} ,现在则提出 6σ 控制原则,在稳态下的不合格品率为 2×10^{-9} ,即不合格品率要比过去降低 135 万倍($2.7 \times 10^{-3} / 2 \times 10^{-9} = 1.35 \times 10^6$)! 如此严格的质量要求可称之为超严质量要求。在超严质量要求下,引出了下列新变化:

1. 质量科学本身也需要加以改造,以适应质量新形势的发展。

(1) 从 90 年代起,质量科学已诞生了一个新的分支,即接近零不合格品过程(near zero nonconformity process)的统计过程控制与诊断。

(2) 现代质量控制与诊断要求愈益精密,越来越强调多元质量控

制与诊断 (MSPC 与 MSPD), 这里 M 即多元 multivariate) 以及其它先进的统计方法的应用。

2. 必须大力提倡质量科学的应用, 如 SPC (统计过程控制) 与 MSPC (多元统计过程控制), SPD (统计过程诊断) 与 MSPD (多元统计过程诊断), 否则难以满足超严质量要求。因此, 在现场要强调质量专家的作用以及现场工艺技术人员的作用, 而不仅仅是质量管理人员, 这是质量新形势下的新特点。我们必须给予充分的重视。

3. 在质量的新形势下, 对于质量体系的建立就更需要强调其科学性, 要求应用科学措施和统计方法来加以保证。尤其是, 对于生产线必须推行与实施 SPC 与 MSPC 以及 SPD 与 MSPD 以保证预防原则的实现。

由于世界上的一切事物都是遵循着由简单到复杂的发展规律, 故质量控制与诊断也是先有控制后有诊断的。以下将分为 SPC 与 SPD 两部分分别加以介绍。

1.2 SPC (统计过程控制) 理论的发展

早在 20 世纪 20 年代, 贝尔电话实验室 (Bell Telephone Laboratory)* 就成立了以休哈特 (W. A. Shewhart) 为学术领导人的过程控制 (process control) 研究组。经过研究, 休哈特提出了过程控制理论以及监控过程的工具——控制图。世界上第一张控制图是休哈特在 1924 年 5 月 16 日提出的不合格品率 (p) 控制图。

由于在过程控制方面主要应用休哈特的过程控制理论, 而现今的

* 贝尔电话实验室最早由贝尔电话公司创立, 后来逐渐发展成为美国著名的科研基地, 不局限于研究电话, 研究范围十分广泛, 在 20 年代已经开始研究质量科学, 现今则甚至进行分子生物学的研究。

SPC 理论与当年的休哈特理论并无根本的区别。所以在此集中介绍 SPC 的发展。

休哈特的贡献就在于:应用他所提出的过程控制理论能够在生产线上科学地保证预防原则的实现。在产品的制造过程中,产品质量特性值总是波动的。按照休哈特的观点,这种波动可以分成两大类,即偶然波动与异常波动。偶然波动由偶然因素(简称偶因)造成,异常波动由异常因素(简称异因)造成。前者是过程所固有的,在过程中始终存在,是不可避免的,但对产品质量影响微小,相当于背景噪音,可以听之任之;后者不是过程固有的,在过程中时有时无,是可以避免的,但对产品质量影响甚大。因此,在生产过程中,我们需要关注的就是产品质量的异常波动。应用控制图能够及时发现异常波动,当发现异常波动时需要尽快采取措施除去异因,并保证它不再出现。如此逐个除去异因,最终可以达到只存在偶因造成的变异而无异因造成的变异的状态,称为稳定状态(简称稳态)。稳态是生产追求的目标,因为在稳态下生产,对于产品的质量有绝对的把握,生产最经济且过程的变异最小。若一条生产线的所有工序都达到稳态,则称之为全稳生产线。SPC 之所以能够实现全过程的预防所依靠的就是全稳生产线。以上是休哈特理论的梗概。

这里需要注意的是:当控制图显示异常,表示存在异因后,在生产线真正起到预防作用的是由于执行下列 20 个字:“查找异因,采取措施,加以消除,不再出现,纳入标准”。每执行一次这 20 个字就消灭一个异因,使它永远不再出现,故对今后而言起到了预防作用。为了引起大家的注意并便于记忆,张公绪首先总结了这 20 个字,并戏称之为“20 字真经”(取西游记中唐僧要取真经不取假经之意),如果不执行这“20 字真经”,搞控制图就毫无意义,不如不搞。

在休哈特之后,提出了许多种控制图,值得注意的有下列几种:

1. 累积和控制图(cumulative sum control chart, CUSUM)

是利用样本统计量与目标值的差值的累积和去评估与监察过程的控制图。休哈特控制图的缺点是只利用了过程当前点子的信息,而没有

充分利用整个样本点子的信息,故对过程的小变动,譬如小于 1.0σ 的变动,不够灵敏。为此,1954年佩基(E. S. Page)最早应用序贯分析原理,提出累积和控制图。它可以将一系列点子的微弱信息累积起来,所以对过程的小变动灵敏。随后许多学者对此作了研究。

2. 指数加权移动平均控制图(exponentially weighted moving average control chart, EWMA)

是利用指数平滑的移动平均值去评估与监察过程的控制图。指数加权移动平均控制图是另一个适用于检出过程小波动的控制图,其性能几乎与累积和控制图相同,而且在某些情况下较之 CUSUM 图更容易建立与操作。它最早由罗伯茨(S. W. Roberts)在1959年提出。由于 EWMA 是所有过去与当前观测值的加权平均,所以它对正态性假设很不敏感,从而它与个别观测值联合使用是很理想的。

一元 CUSUM 图与一元 EWMA 图在工序控制中得到日益广泛的应用。

3. 模糊控制图(fuzzy control chart)

是根据模糊信息去评估与监察过程的控制图。1996年张公绪教授的学生陈志强博士提出了基于模糊信息的多种模糊控制图,如贴近视度控制图、基于模糊集代表值的控制图、基于加权合成值的控制图等,可用来解决感官性指标的质量控制问题。他还提出模糊不合格品率控制图,较之传统的不合格品率控制图更为灵敏。他根据“过程异常”这一模糊现象,进一步提出了基于模糊判异的控制图,为模糊推理的质量诊断专家系统提供了输入接口。他还提出模糊选控值、模糊选控图和模糊 EWMA 控制图以及两种质量模糊诊断理论,为两种质量诊断理论的模糊化作出了贡献。

4. 小批量生产控制图(control charts for low volume manufacturing)

随着柔性生产的发展,小批量生产日益普及。因此,小批量生产的质量控制越来越重要。小批量控制图有下列几类:

1.2 SPC(统计过程控制)理论的发展

(1) 无先验信息小批量生产的控制图:1969年希利尔(F. S. Hillier)与新加坡杨中浩提出了小样本控制图,1991~1995年久森伯瑞(C. P. Qusenberry)提出了 Q 控制图。但统计模拟试验证实这类控制图检出异常的能力要远低于参数已知条件下的控制图。

(2) 有历史信息小批量生产的控制图:1997年张公绪教授的学生卜祥民博士研究了这类问题,应用贝叶斯(Bayes)分析方法,充分利用已知信息,弥补小批量生产样本少的缺陷,求出参数的优良估计,从而仍然可以应用大样本方法。卜祥民的工作为两种质量诊断理论的小批量化作出了贡献,也为小批量生产的质量控制与诊断开辟了一条新的途径。

(3) 将相似工序同类分布的产品质量特性值数据,通过某种数学变换变换成同一分布,从而可以累积起来成为大样本,于是可以应用大样本方法。常见的方法有通用图法、相对公差法、美军固定样本容量法等。

5. 选控控制图(cause-selecting control chart)

是能够选择部分异因加以控制的控制图。前述控制图,包括休哈特图、CUSUM图、EWMA图等在内的现有控制图都是全控图。所谓全控图是对所有异因都加以控制的控制图。1980年张公绪提出选控图系列,可以用来选择部分异因加以控制,从而缩小搜索异因的范围,提高效率。选控图是应用数学变换来实现选控的,在统计过程诊断理论中具有重要的作用。选控图与全控图是一一对应的,例如,可以相应地构造出选控休哈特图、选控CUSUM图、选控EWMA图、选控多元 T^2 图等。

6. 多元控制图(multivariate control chart)

是同时控制多个因素的控制图。1947年侯铁林(H. Hotelling)提出多元 T^2 控制图,从此开辟了多元质量控制的年代。

多元情形要比一元情形复杂得多。例如,在生产线的工序中,指标,包括质量指标和技术指标,往往是多个,对于多指标的控制问题,一个