



中华人民共和国国家标准

GB/T 17989.1—2020
代替 GB/T 17989—2000

控制图 第 1 部分：通用指南

Control charts—Part 1: General guidelines

(ISO 7870-1:2014, MOD)

2020-03-06 发布

2020-10-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号 6

5 概念 6

 5.1 控制图 6

 5.2 过程的统计控制 7

 5.3 过程验收 7

 5.4 自然漂移过程的管理 7

 5.5 判定风险 7

 5.6 数据收集设计 7

 5.7 计量控制图和计数控制图 9

6 控制图类型 9

7 判定过程稳定的控制图 9

 7.1 概述 9

 7.2 常规控制图及部分相关控制图 10

8 验收控制图 11

 8.1 概述 11

 8.2 验收控制图 12

 8.3 修正控制图(具有修正控制限的控制图,见 GB/T 17989.3) 12

9 过程调整 12

参考文献 13

前 言

GB/T 17989《控制图》计划分为以下 9 个部分：

- 第 1 部分：通用指南；
- 第 2 部分：常规控制图；
- 第 3 部分：验收控制图；
- 第 4 部分：累积和控制图；
- 第 5 部分：特殊控制图；
- 第 6 部分：指数加权移动平均控制图；
- 第 7 部分：多元控制图；
- 第 8 部分：短周期和小批量控制方法；
- 第 9 部分：自相关过程控制图。

本部分为 GB/T 17989 的第 1 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 17989—2000《控制图 通则和导引》，与 GB/T 17989—2000 相比，主要技术变化如下：

- 增加了“术语和定义”(见第 3 章)；
- 增加了“符号”(见第 4 章)；
- 增加了“概念”(见第 5 章)；
- 删除了“经济方面的考虑”(见 2000 年版的第 13 章)。

本部分使用重新起草法修改采用 ISO 7870-1:2014《控制图 第 1 部分：通用指南》，与 ISO 7870-1:2014 的技术性差异及其原因如下：

- 关于规范性引用文件，本部分做了具有技术性差异的调整，以适应我国的技术条件，调整的情况集中反映在第 2 章“规范性引用文件”中，具体调整如下：
 - 用等同采用国际标准的 GB/T 3358.2 代替 ISO 3534-2(见第 3 章)；
 - 增加引用了 GB/T 17989.2(见 5.1)；
 - 增加引用了 GB/T 17989.3(见 5.3)；
 - 增加引用了 GB/T 17989.4(见 7.2.3.2)。

本部分做了下列编辑性修改：

- 调整了参考文献的顺序，增加了参考文献 ISO 7870-5、ISO 7870-6、ISO 22514-1、ISO 22514-7。

本部分由全国统计方法应用标准化技术委员会(SAC/TC 21)提出并归口。

本部分起草单位：湖州铭丰企业管理咨询有限公司、厦门明红堂工艺品有限公司、中国标准化研究院、清华大学、湖州弘拓企业信息服务有限公司、溧阳市市场综合检验检测中心。

本部分主要起草人：丁丽慧、张帆、赵静、孙静、唐峤荻、俞敏、钱鑫晖、蒋文华。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 17989—2000。

引 言

每个生产、服务或管理过程,在多种因素的作用下,都存在一定的变异。因此,在过程中观测到的结果并非不变。研究过程的变异性将有助于了解其特征,并为采取相应的措施提供依据。

控制图是统计过程控制(SPC)的基本工具。它们提供了一种简单的图形化方法,该方法可用于:

- a) 判定过程是否稳定,即过程是否在一个仅有随机原因影响的系统内运行,此时过程发生的变异称为固有变异,也称该过程处于“统计受控状态”;
- b) 估计过程固有变异的程度;
- c) 将代表过程当前状态的样本信息与反映这种变异的控制限进行比较,以确定过程变异是否一直保持稳定或发生变化;
- d) 识别、调查并可能降低/消除特殊变异原因的影响,这些变异可能导致过程达到不可接受的水平;
- e) 通过识别趋势、流程、周期等各种变异模式,来辅助调节过程;
- f) 确定过程是否表现为可预测和稳定的,以便评估过程是否满足规范;
- g) 确定过程中的被测特性是否满足预期的符合产品或服务需求所需的过程能力;
- h) 使用统计模型进行预测时,为过程调整提供依据;
- i) 帮助评估测量系统的性能。

控制图的主要优点在于易于绘制和使用。它为生产或服务运营人员、工程师、管理人员以及经营人员提供了关于过程行为的在线指标。但是,为了使控制图成为可靠而高效的过程状态指标,在设计阶段,注意要针对所研究的过程,选择合适的控制图类型,并确定正确的抽样方案。

GB/T 17989 的本部分给出了成功设计一张控制图的一般概念。

控制图

第 1 部分:通用指南

1 范围

GB/T 17989 的本部分给出了控制图方法的关键要素和基本原理,并定义了各类控制图(包括常规控制图、强调过程验收或在线过程调整的控制图以及特殊控制图)。

本部分仅给出了基本原则和概念,举例说明了各种控制图方法之间的关系,用以帮助在特定情形下选择最适合的控制图方法。本部分并没有给出控制图中使用的统计控制方法,该内容在 GB/T 17989 的其他部分中予以详细说明。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 3358.2 统计学词汇及符号 第 2 部分:应用统计(GB/T 3358.2—2009,ISO 3534-2:2006, IDT)

GB/T 17989.2 控制图 第 2 部分:常规控制图(GB/T 17989.2—2020,ISO 7870-2:2013,MOD)

GB/T 17989.3 控制图 第 3 部分:验收控制图(GB/T 17989.3—2020,ISO 7870-3:2012,MOD)

GB/T 17989.4 控制图 第 4 部分:累积和控制图(GB/T 17989.4—2020,ISO 7870-4:2011, MOD)

3 术语和定义

GB/T 3358.2 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用,以下重复列出了 GB/T 3358.2 中的某些术语和定义。

3.1

控制图 control chart

为监测过程、控制和减少过程变异,将样本统计量值序列以特定顺序描点绘出的图。

注 1: 特定顺序通常指按时间顺序或样本获得顺序。

注 2: 控制图用于监测关于最终产品或者服务的特性时最有效。

[GB/T 3358.2—2009,定义 2.3.1]

3.2

控制限 control limits

用于确定特性的预期稳定程度的统计值。

注 1: 控制图上通常有一个或两个控制限。

注 2: “稳定性”并不仅仅针对受控过程,它还可以是针对目标值的稳定性。

3.3

常规控制图 Shewhart control chart

休哈特控制图

主要用来从图形上判定变异源于随机原因还是特殊原因,采用常规控制限(3.4)的控制图(3.1)。
[GB/T 3358.2—2009,定义 2.3.2]

3.4

常规控制限 Shewhart control limit

基于统计学方法、根据仅由随机原因产生的过程变化确定的控制限(3.2)。

3.5

验收控制图 acceptance control chart

主要用来判定描点是否能期望在容差之内的控制图(3.1)。

[GB/T 3358.2—2009,定义 2.3.3]

3.6

过程调整控制图 process adjust control chart

利用过程的预测模型,在没有调整的情况下估计未来趋势,或确定调整量使系统偏差在可接收范围内的控制图(3.1)。

[GB/T 3358.2—2009,定义 2.3.4]

3.7

计量控制图 variables control chart

描点所用统计量是连续尺度的常规控制图(3.3)。

[GB/T 3358.2—2009,定义 2.3.6]

3.8

计数控制图 attribute control chart

描点所用统计量是可数的或分类变量的常规控制图(3.3)。

[GB/T 3358.2—2009,定义 2.3.7]

3.9

c 图 c chart

计点控制图 count control chart

用一定量样本中特定类型的不合格数,评估和监测过程水平的计数控制图(3.8)。

注 1: 计数的是某一特殊类型的事件总数,如缺席的人数、高销售量数等。在质量领域,通常是固定样本量的样本或固定量物料中的不合格数,如 100 m² 织物中的瑕疵数,100 张发票中的错误数。

注 2: 改写 GB/T 3358.2—2009,定义 2.3.8。

3.10

u 图 u chart

单位计点控制图 count per unit control chart

用样本中特定类型的不合格的平均数,评估和监测过程水平的计数控制图(3.8)。

注 1: 计数的是某一特殊类型的事件的平均数。在质量领域,通常是样本中平均不合格数,如平均每平方米织物中的瑕疵数,平均每张发票中的差错数。

注 2: 改写 GB/T 3358.2—2009,定义 2.3.9。

3.11

np 控制图 np chart

计件控制图 number of categorized units control chart

用固定子组量的样本中属于指定类别的单元数,评估和监测过程水平的计数控制图(3.8)。

注 1: 在质量领域,通常按不合格品进行分类,此时称为不合格品数控制图。

注 2: 改写 GB/T 3358.2—2009,定义 2.3.10。

3.12

 p 控制图 p chart

计件比率控制图 proportion or percent categorized control chart

百分比分类单位产品控制图 percent categorized units control chart

用一定量样本中属于某指定类别的单元的比例或百分比,评估和监测过程水平的计数控制图(3.8)。

注 1: 在质量领域,通常按不合格品进行分类,此时称为不合格品率控制图。

注 2: p 图特别适用于子组大小变化的情形。

注 3: 可用比例或百分比进行描图。

注 4: 改写 GB/T 3358.2—2009,定义 2.3.11。

3.13

标准化 p 控制图 standardized p chart

将某指定类别的比例表示为标准化正态变量的计数控制图(3.8)。

3.14

 $\bar{X}$ 控制图 $\bar{X}$ bar control chart

均值控制图 average control chart

用子组均值评估和监测过程水平的计量控制图(3.7)。

注: 改写 GB/T 3358.2—2009,定义 2.3.12。

3.15

中位数控制图 median control chart

用子组中位数评估和监测过程水平的计量控制图(3.7)。

注: 改写 GB/T 3358.2—2009,定义 2.3.13。

3.16

移动平均控制图 moving average control chart

用每 n 个相继观测值的算术平均评估和监测过程水平的控制图(3.1)。

注 1: 当每个子组只有一个观测值时这种控制图尤其有用。如,过程特性为温度、压力、时间等。

注 2: 以当前观测值替换最近的 $n+1$ 个观测值中最早出现的那个值。

注 3: 这种控制图的一个缺点是未对 n 个相继观测值进行加权。

注 4: 改写 GB/T 3358.2—2009,定义 2.3.14。

3.17

单值控制图 individual control chart **X 控制图 X control chart**

用样本中的单个观测值评估和监测过程水平的计量控制图(3.7)。

注 1: 单值控制图一般和移动极差控制图(通常取 $n=2$)配对使用。

注 2: 单值控制图无法用取平均的方法来减少随机变异,也无法利用中心极限定理。

注 3: 单值用符号 $x_1, x_2, x_3, \dots$ 表示。

注 4: 就单值控制图而言,符号 R 代表移动极差值,即两个逐次值之差的绝对值,如 $|x_1 - x_2|, |x_2 - x_3|$ 等。

注 5: 改写 GB/T 3358.2—2009,定义 2.3.15。

3.18

累积和控制图 cumulative sum control chart

CUSUM 图 CUSUM chart

将相继样本统计量的值与参照值的偏差累加进行描点,以检测所描点的统计量的均值水平漂移的控制图(3.1)。

注 1: 每个点的纵坐标是前一个点的纵坐标和当前点与参照值、目标值或控制值的偏差的代数和。

注 2: 当参照值与总平均值相等时,能最好地判别均值水平的变化。

注 3: 该控制图可用于控制、诊断及预测。

注 4: 用累积和控制图进行控制时,可以用一个模板(比如,V 型模板)叠加在控制图上作出图形解释:当累积和曲线达到 V 型模板的边界或与之相交时即发出报警信号。

[GB/T 3358.2—2009,定义 2.3.5]

3.19

EWMA 控制图 EWMA chart

指数加权移动平均值控制图 exponentially weighted moving average control chart

用指数滑动加权平均评估和监测过程水平的计量控制图(3.7)。

[GB/T 3358.2—2009,定义 2.3.16]

3.20

Z 图 Z chart

用子组的标准化正态变量来评估过程的计量控制图(3.7)。

3.21

基于组的均值控制图 group control chart for averages

由多个来源的样本组成子组,利用子组内各个来源的样本均值的最大值和最小值来评估和监测过程水平的计量控制图(3.7)。

3.22

基于组的极差控制图 group control chart for ranges

由多个来源的样本组成子组,利用子组内各个来源的样本极差的最大值来评估和监测过程变异的计量控制图(3.7)。

3.23

极值控制图 high-low control chart

根据子组观测值的最大值和最小值来评估和监测过程水平的计量控制图(3.7)。

3.24

趋势控制图 trend control chart

用子组均值对过程水平的期望值的偏离评估和监测过程水平的控制图(3.1)。

注 1: 可以用经验方法或回归的方法确定趋势。

注 2: 将观测值按时间顺序作图,在消除了随机变异和周期影响后,趋势控制图表示了过程水平的变化趋势。

注 3: 改写 GB/T 3358.2—2009,定义 2.3.17。

3.25

R 图 R chart

极差控制图 range control chart

用子组极差评估和监测过程变异的计量控制图(3.7)。

注 1: 子组极差值用符号 R 表示,即子组中最大和最小观测值之差。

注 2: 子组极差的均值用符号 $\bar{R}$ 表示。

注 3: 改写 GB/T 3358.2—2009,定义 2.3.18。

3.26

s 控制图 s chart

标准差控制图 standard deviation control chart

以子组的标准差来评估和监测过程变异的计量控制图(3.7)。

注 1: 子组标准差值用符号 s 表示。

注 2: 子组标准差均值用符号 $\bar{s}$ 表示。

注 3: 改写 GB/T 3358.2—2009,定义 2.3.19。

3.27

移动极差控制图 moving range control chart

用 n 个相继观测值的极差评估和监测过程变异的计量控制图(3.7)。

注 1: 以当前的观测值替换最近的 $n+1$ 个观测值中最早出现的那个值。

注 2: 改写 GB/T 3358.2—2009, 定义 2.3.20。

3.28

变异系数控制图 control chart for coefficient of variation

根据子组变异系数评估和监测变异的计量控制图(3.7)。

3.29

多变量控制图 multivariate control chart

用子组中两个或两个以上相关的变量合成一个样本统计量得到的控制图(3.1)。

注 1: 多变量控制图也称为多元控制图。

注 2: 改写 GB/T 3358.2—2009, 定义 2.3.21。

3.30

多维特性控制图 multiple characteristic control chart

基于多个特性评估和监测过程水平的计数控制图(3.8)。

注: 改写 GB/T 3358.2—2009, 定义 2.3.22。

3.31

缺点控制图 demerit control chart

质量计分图 quality score chart

按察觉的显著程度对每种缺点事件(或质量计分)分配不同权重的多维特性控制图(3.30)。

[GB/T 3358.2—2009, 定义 2.3.23]

3.32

过程调整 process adjustment

通过前馈控制和(或)反馈控制减少输出特性与目标值的偏差的行动。

注: 进行实时监控以确定过程和过程调整系统是否处于统计受控状态。

[GB/T 3358.2—2009, 定义 2.3.24]

3.33

控制变量 control variable

过程中作为报警信号的用来改变过程输出的函数中的变量。

注 1: 信号可以由可测量的过程变化来触发。

注 2: 改写 GB/T 3358.2—2009, 定义 2.3.27。

3.34

自相关 autocorrelation

按时间顺序得到的一观测值序列之间的内部相关。

[GB/T 3358.2—2009, 定义 2.3.28]

3.35

特殊原因 special cause

〈过程变异〉导致过程固有变异以外的其他过程变异的原因。

注 1: “特殊原因”有时也称为“可查明原因”, 但二者又有差异。只有当特殊原因被明确确认时, 才认为是可查明原因。

注 2: 特殊原因是由一些不太经常出现的特殊情形所引起的。因此, 在一个受特殊原因影响的过程里, 变异的大小是随着时间改变的, 是无法预测的。

[GB/T 3358.2—2009, 定义 2.2.4]

3.36

随机原因 random cause

一般原因 common cause

偶然原因 chance cause

〈过程变异〉导致过程随时间发生固有变异的原因。

注 1：若过程只受随机原因的影响，则变异在统计意义上可预测。

注 2：减少随机原因可使过程改进。然而，对随机原因的识别、减弱和消除要从技术易实现性及经济角度进行成本效益分析。

[GB/T 3358.2—2009, 定义 2.2.5]

4 符号

下列符号适用于本文件。

n 子组大小

p 某种特性的单位产品的比例

R 子组极差

$\bar{R}$ 子组极差的平均值

s 子组标准差

$\bar{s}$ 子组标准差的平均值

x 单值

$\bar{x}$ 子组均值

5 概念

5.1 控制图

控制图是对过程数据的图形化表示，可对过程的变异进行直观评估。在给定的区间内，指定子组大小，获得质量特性数据，从而确定产品的特性值或特征。通常使用这些数据得到适当的统计量，并将这些统计量在控制图上绘出。典型的控制图包含中心线和位于中心线两侧的控制限。其中，中心线反映统计量预期变化的中心水平。如果过程受控，则统计量会随机落在两条控制限所确定的区域内。

两个控制限用于判断过程是否处于受控状态。控制限定义了一个区间，区间的宽度在某种程度上由过程的固有变异决定。如果控制图中描点的统计量位于该区域内，表示过程处于统计受控状态，那么这个过程可以使用当前设置继续运行。但是如果控制图中描点的统计量位于该区域外，则表明过程可能“失控”。当控制图显示一个“失控”信号，表明可能有特殊原因导致了过程变异，需要对过程采取必要的措施予以纠正。

可采取的措施包括：

- 进行调查以确定特殊原因的来源，目的在于消除、纠正或降低该类原因产生的影响；
- 进行过程调整；
- 在风险评估的基础上，继续此过程；
- 停止此过程，或采取措施予以纠正；
- 如特殊原因表现出积极特性（例如过程改进）时，保留特殊原因，并尽可能持久保持。

有时，控制图上还有称为“警戒限”的第二组控制限。如果图中描点超出警戒限但未超出控制限，表明存在影响过程的可疑原因，需要注意，此时不需要对过程采取任何“措施”。可以采取缩短与下一子组的采样间隔和/或增加下一个样本量来协助确定过程是否发生了变化。当控制图中包括警戒限时，控制

限有时也称为“行动限”。

用于判断过程状态的规则还有其他形式,如控制限内的点呈现异常排列模式。这些规则通常称为“判定准则”,见 GB/T 17989.2。

当控制图用于过程验收时,接收限可作为判断过程是否可接收的判定准则。见 5.3。

5.2 过程的统计控制

控制图常用于判断过程的稳定性。如果只受到随机(或一般或偶然)原因的影响,即如果没有特别、非预期或特殊(或指明)原因影响系统,则认为过程处于“统计受控状态”。这些特殊原因可能会影响过程运行的水平,或过程水平的变异性程度,或对两者均有影响。

由于随机或偶然原因产生的变异是随机出现的,并且通常都符合一定的统计规律。从本质上看,当过程受到“统计控制”时,可以稳定地预测该过程的运行,而当特殊(或特定的)原因影响系统时,过程则取决于这些原因造成的结果。如果发现过程并不处于统计受控状态,则称之为“失控”,此时需要采取干预措施,使过程恢复至统计受控状态。对于某些经济或自然现象,可能没有已知的干预方法,控制图仅用于识别失控状态。

5.3 过程验收

除了监测过程的稳定性之外,控制图还可以用来判断过程是否可接收。当过程处于统计控制状态时,其决策风险受控,控制图可以确定过程输出是否满足产品或服务的要求。最为有效的是,相对于容差范围,当过程变异更小时,即使过程水平暂时漂移到某个“失控状态”,过程仍能满足产品和服务要求。此时,控制图用来监测过程是否处于可接收状态,而不考虑过程水平的动态变化。在这种情况下,要使用 GB/T 17989.3 中的验收控制图。

5.4 自然漂移过程的管理

当某种无法消除的干扰使过程水平漂移时,例如一个批次的特定化学品浓度,可能存在可以用来调整过程水平的某一补偿变量。在这种情况下,可专门设计控制图来说明何时以及如何调整以补偿干扰的影响。这种类型的控制往往会大幅降低过程的变异性,而不会造成过程的过度调整。

5.5 判定风险

当采用一组判定准则和从数据点选取的有限样本来判断过程的控制状态时,可能产生两类错误。

第一类错误(第Ⅰ类错误)是判定过程未处于统计控制状态且应采取相应措施,但实际上过程仅存在随机原因的影响。因此,该过程会被错误地判定为“失控”。这种错误的风险称为“ α 风险”。

当已有特殊原因影响过程,但收集的数据还不能判定过程“失控”时,会产生第二类错误(第Ⅱ类错误)。此时,过程会被错误地判定为“处于统计控制”状态。这种错误的风险称为“ β 风险”。

可通过适当选择控制限、判定准则和子组大小,来控制这两类风险。

5.6 数据收集设计

5.6.1 概述

数据收集最重要的因素是对特性的选择以及对控制的位置或阶段的确认。数据收集方法有助于区分随机原因和特殊原因,对控制图有效运行非常重要。根据对过程和所收集数据性质的理解,认真考虑样本或子组的定义方法、适当的子组大小以及数据采集的频率。

5.6.2 特性选择

首先要选择过程所控制的特性。宜考虑以下几方面因素。一是,该特性是能反映过程状态的关键

特性。二是,该特性与产品的质量特性相关。表 1 给出了根据 FMEA 和过程分析的结果选择特性的示例。产品特性的重要程度越高,在过程中要越早予以控制。表 1 中,施加于铰链的轧制压力和应力扭矩可以作为控制图特性的候选项。

表 1 特性选择

重要程度排序(根据 FMEA 表)	产品特性示例	产品部件特性示例	过程参数示例
9~10,影响安全的关键特性	绝缘子厚度	轴径	轧制压力
5~8,重要特性	运动阻力	螺钉节径	施加在铰链上的应力扭矩
2~4,一般特性	划痕	表面纹理	操作参数

5.6.3 测量过程评价

在实施任何类型的过程控制之前,要确保测量过程的有效性,这是十分重要的。测量引发的变异足够小才能检测到过程中特性的变异,因而要对测量的变异(参见 ISO 22514-7)进行估计。这种情况下,要根据规范或过程变异对测量方法(包括方法、仪器等)进行选择。

5.6.4 子组选择

子组是按一定方式从过程中收集的单位产品组成的样本。根据这些样本的特性值可以计算出统计量,如:不合格数、平均值、极差等,并将这些统计量在控制图上描点。

合理样本或子组的选择要能够确保所有子组均为同质的。合理子组内,假定变异是由随机原因造成的。这些原因是随时间变化的过程中固有的变异导致。合理子组的选择能够有助于发现子组间变异的特殊原因。短期变异通过一系列合理且同质的子组内变异来度量,并可用来确定控制限的位置,而长期变异通常根据子组间变异来评估。通常按时间顺序构成子组,因为特殊原因可能随时间推移而出现。也可利用其他因素来构建子组,例如,操作人员的变化、设备的变化或供应商的变化,可以按照操作人员、设备或供应商的不同来定义子组。

如果要使合理子组有意义,要注意使其涵盖所有通常的随机原因的影响。例如,某测试仪器对放入其中的某一件材料进行测试,所获得的一系列重复测试值可能没有包括材料放置过程或抽取样本过程的影响。如果这些影响在通常测试环境下是固有的,这些重复测试数据就会不合乎实际地低估了该测量过程的固有变异。因此,从这个过程获得的几乎所有实际测量值都会显示“失控”。

5.6.5 子组大小

选择子组大小,以平衡发现过程微小漂移的能力和未能发现特殊原因的风险。虽然较大的子组大小成本较高,但它能够为更加精确地为过程评定提供基础,因此监测效率较高。但是,如果样本量过大,在样本收集期内,更有可能出现特殊原因,使样本本身的变异增加;因此,控制限可能会过度扩大,可能难以发现特殊原因。

处理计数数据时,由于计数数据包含的信息比计量数据少,因此检测过程不合格品率变化所需要的子组大小通常会远大于使用计量数据的子组大小。

某些情况下,形成子组是不可行的或毫无意义的,此时只能收集单个单位产品的信息,因此,从本质上讲,子组大小等于 1。若是破坏性测试,或抽样成本较高,或只是由于仪器或分析错误而使过程(连续或批量过程)的重复测量值有所不同时,这也是不能形成子组的一种情况。

5.6.6 抽样频率

抽样频率取决于过程偏移的幅度,还取决于过程在统计失控状态下运行的成本。检测的偏移越小,

则被控制图检测到所需要的样本量越大。缩短抽样间隔将会缩短失控状态发现之前的运行时间,和失控状态下生产不合格产品的时间。但是,在定义间隔时,也可以考虑抽样和测试成本。注意确保采样间隔与过程参数的变化周期不同(例如,始终在工作周期开始时且低温情况下抽样,或在原材料初始批次每 50 个产品进行一次抽样,或发生偏移时抽样)。

5.7 计量控制图和计数控制图

控制图可用于“计量”或“计数”数据。计量数据是在连续尺度下,通过测量和记录所考察的一组对象中每个个体的某种特性的数值大小而获得的观测值。计数数据是通过记录所考察的一组对象中的每个个体是否具有某种特性或属性,计算该样本中具有(或不具有)该特性或属性的个体的数量,或者记录所考察的个体、子组或一定面积、一定量之内某种特性或属性出现的次数而获得的观测值,一般用频数或比例表示。

从根本上讲,由于所研究特性的潜在分布不同,用于计量数据的控制图(也称为计量控制图)不同于用于计数数据的控制图(也称为计数控制图)。

对于大多数计量控制图而言,通常假定为正态分布,且观测值独立。这种假定下,一般绘制两种控制,即控制过程均值(或中心)和过程变异。第一类讨论位置尺度,如样本均值、中位数或特性的单次测量结果。第二类讨论样本中观测值离散的尺度,如样本标准差、样本极差,或者一个时间点只包含单个样本时连续两次观测值的绝对差。为建立一个有效的计量控制图方法,这两类图都有必要。

控制位置的控制图(如,均值图)用来评估过程水平是否发生明显偏移,控制散度的控制图用来评估样本或子组标准差大小是否有明显变化。控制位置的控制图,其控制限是样本或子组标准差的函数。验证该过程散度处于统计控制状态,对于构造控制位置的控制图是重要的。

对于大多数计数控制图而言,通常基于二项或泊松分布。每种分布只有一个参数,因此只需绘制一种控制图。当子组大小已知,并确定了比例或频数时,能够估计出比例或频数的标准差,从而可以确定计数控制图的控制限。

6 控制图类型

本部分包含用于判定“过程稳定”和“过程验收”两类控制图。

为了达到或维持过程稳定,可以使用常规控制图(参见 GB/T 17989.2)和相关控制图。

如果以过程验收为目的,则使用验收控制图(见 GB/T 17989.3)。但是,GB/T 17989.3 规定要先使用常规控制图验证过程处于统计控制状态,从而确保验收控制图的有效性。验收控制图中对过程变异进行持续控制是强制要求。第 7 章、第 8 章描述了这些通用类型中的一些特定控制图。

另外,当无法使过程进入或保持统计控制状态时,可使用第 9 章的方法。这些方法将预测过程的调整,以使过程尽可能接近目标。

7 判定过程稳定的控制图

7.1 概述

常规控制图一般有两种形式。

第一种形式控制图不预先设定控制限。这类控制图所使用的控制限是基于描绘在图上的样本或子组的数据来设计的。这种形式的控制图用来确定一系列样本观测值的变化,是否大于预期的仅仅由随机原因造成的变化。实质上,这类控制图在研发阶段、试验早期,或生产和服务研究初期阶段来评估系统是否缺乏稳定性。这种控制图用于评估一个新过程、产品或服务的变异性,以及评估试验方法的变异性。此时,控制限是描点数据的函数,所以对控制图中的失控信号建议审慎予以解释。

第二种形式控制图带有预先设定的控制限,该控制限是基于打点统计量的标准值确定的。标准值可以依据:

- a) 有代表性的先验数据(如:根据不预先设定控制限的控制图所获得的数据);
- b) 考虑服务需要和生产成本的经济性取值;
- c) 规范中设定的期望目标值。

这种形式的控制图用来监测正在进行的过程,评估样本的测量值是否与所采用的标准值有显著差异(大于随机原因影响的预期观测值)。

通常根据上述 a) 确定标准值,因为从第一阶段(未预先设定控制限的控制图)过渡到第二阶段(带有预先设定控制限的控制图)需要过程控制具有连续性。

要注意的是,第二种形式的控制图不仅用来评估系统的一致性,还可评估系统所采纳的经济性取值或目标值是否恰当。

7.2 常规控制图及部分相关控制图

7.2.1 概述

所列举的控制图分为三个类别。前两个类别基于独立观测值,使用从每个子组得到的数据或从多个子组累积的数据。第三个类别包括独立性假设不成立的数据获得的控制图。

7.2.2 使用来自单个合理子组的数据来描点的控制图

7.2.2.1 计量数据

每个描点值仅使用单个合理子组计量数据的控制图包括:

- a) $\bar{X}$ 和 R 控制图,或 $\bar{X}$ 和 s 控制图。中位数控制图可以代替均值控制图;
- b) $\bar{X}$ 和移动极差控制图(见 7.2.3);
- c) 多元控制图;
- d) 趋势控制图;
- e) 极值控制图;
- f) 基于组的控制图;
- g) 变异系数控制图;
- h) Z 和 R 控制图。

多元控制图用于检测多个相关特性的均值偏移或关系(协方差)偏移。通常图上只描绘一个反映质量特性组合的概括性统计量。

7.2.2.2 计数数据

对每个描点数据仅使用一个合理子组计数型数据的控制图包括:

- a) p 图;
- b) np 图;
- c) c 图;
- d) u 图;
- e) 标准化 p 控制图;
- f) 缺点控制图;
- g) 量具检验控制图;
- h) 频数或比例的 X 控制图和移动极差控制图。

7.2.3 使用来自多个子组的数据来描点的控制图

7.2.3.1 带有 $\bar{X}$ 控制图的移动均值控制图和移动极差控制图(参见 ISO 7870-5)

某些情况下, $\bar{X}$ 控制图上用单个观测值描点。然后在移动极差控制图上标绘移动极差(连续两个观测值之差的绝对值), 以估计和控制过程变异。有时, 可使用每 n 个连续观测值的移动平均来代替 $\bar{X}$ 控制图。

7.2.3.2 累积和控制图(见 GB/T 17989.4)

累积和控制图是利用单个观测值或子组汇总统计量, 例如 $\bar{x}, R, s, p$, 与参照值的差值的累积和, 来评估和监测过程水平的控制图。过程的控制状态可以使用表格式或者 V 型模板来确定。由于传递效应的增强, 这种控制图对微小的偏移, 通常比一般的常规控制图更敏感。CUSUM 技术的一个有用的功能无论是图形法还是表格法, 它能够估计过程参数可能开始发生变化的点。

7.2.3.3 指数加权移动平均(EWMA)控制图(参见 ISO 7870-6)

当前的单个观测值或子组均值或子组极差或子组标准差与所有以往值取加权平均, 越早的取值所赋权重越小。由于传递效应增强, 该控制图对微小偏移更敏感, 但就较大偏移而言, 常规控制图更为敏感。

7.2.4 非独立(自相关)观测值控制图

控制图通常假定过程处于统计控制状态时, 过程变量服从独立正态分布, 具有固定的均值和标准差。失控状态是均值或标准差(或两者都)偏移到其他值。

其中最重要的是观测值独立性的假设。即使不同时间的质量特性值之间存在较低的相关性时, 常用控制图的控制效果也会受到影响。这种不同时间的质量特性值之间存在相关关系的过程称为自相关过程。当数据相关时, 控制图甚至会给出误导性的结果。然而, 某些制造过程并不能满足不相关或独立观测的假设。例如, 在化学过程中, 对过程或产品特性的连续测量值往往有很大的相关性。另一种情况是, 按时间进度生产时, 对每个单位产品进行自动测试或测量的过程有自相关性。

可以采用两种方法来处理这种类型的自相关过程, 一是以较低的频率从过程数据中抽取样本, 此时, 抽样数据的相关关系就会变弱。二是使子组大小为 1。虽然这是一种简单的解决方案, 但它的缺点是可用数据的利用效率降低, 检测真正的过程偏移所用时间比使用所有数据时更长。

一种常用的方法是接受随着时间推移“漂移”或“游移”产生的自相关作为过程的固有部分。对随自相关产生的动态变化而调整的数据进行监测。具体而言, 使用适当的时间序列模型对数据的相关结构进行建模。以消除自相关并修改数据, 此时修改过的数据(称为残差)不相关, 可以在控制图上描点。

7.2.5 过程能力

当过程在没有预先设定控制限的情形下处于统计控制状态, 其性能是可以预测的, 且可以对其符合规范的能力进行评估(参见 ISO 22514-1 和 GB/T 17989.2)。

8 验收控制图

8.1 概述

验收控制图通过控制超出规范限的比例来判断过程的可接收性。为此, 可以使用两条 $\bar{X}$ 线(上、下), 但由于其效率取决于是否具有合理的过程变异, 需要注意的是同时强制使用 R (或 s) 控制图, 以控

制子组内部的变异性。

验收控制图与常规控制图相比,重点在于过程通常不需要在某一标准过程水平维持受控状态,而是只要子组内的变异保持受控,在根据经验建立起来的过程水平的某个区域内,过程就可以在其中任何水平上运行。假设某些可查明原因会造成过程水平漂移,而这些漂移对于产品或服务要求来说很微小,那么试图对它们进行过于严格的控制是很不经济的;也就是说,过细地调整过程的中心,可能使其花费大大超过所获取的价值,并且可能会引起更多的变异。另一方面,一些过程的水平偏移非常大,值得及早察觉,需要考虑未能检测这些偏移的风险。

区分验收控制图和常规控制图及相关控制图的关键点在于是否使用规范限。

8.2 验收控制图

验收控制图既考虑到了当过程在可接收水平上运行时拒收过程的风险,同时也考虑到了当过程在拒收水平上运行时接收(而非检测到)过程的风险。设计这些控制图的典型程序如下。

定义接收过程域,该区域以接收过程水平和拒收过程水平为边界。确定样本量,以满足规定的 α 风险(拒收应接收过程的风险)及 β 风险(接收应拒收过程的风险)。按照这些准则,计算出显示在图上的特殊的控制限,作为操作人员的判定准则。

8.3 修正控制图(具有修正控制限的控制图,见 GB/T 17989.3)

修正控制图只在给定的置信度下确保过程在满意水平上运行,并且对于给定的子组大小,控制图不会出现超出规范限的点。控制限经过修正,可以保证过程水平位于规范限内。

9 过程调整

由于某些无法消除或不能有效减少的干扰,有时候既不可能使过程进入统计控制状态,也不可能保持统计控制状态。造成这种干扰的原因可能是未知的,或者消除这种干扰的成本过高而无法进行。不同于传统控制图是为了识别影响过程的原因,过程调整的目的是将过程保持在目标水平上下。这涉及使用复杂程度不同的预测模型,预测过程将在何处不再继续当前正在运行的状态;并采取迅速的校正措施,防止过程偏离标准水平。由于预测模型各要素非常依赖于特定的过程,过程调整控制图对于特定的应用而言,通常是唯一的。

与前面的控制图不同,这类控制图使用过程水平进行预测性估计,该估计建立在如下假定基础上:过程将沿着当前的路径继续发展;并且这类图要求事先改变过程,以避免对过程目标有任何可预测到的偏离。当预测模型良好时,该方法可以有效减少变异。但是,如果预测模型较差时,可能会增加变异。通过在常规控制图上对预测值和实际值之间的差异进行打点,判断该控制图是否处于统计控制状态,以评价预测模型的有效性。

过程调整的程序如下:

- 根据预测模型,预测下一观测值;
- 估计预测值和目标值之间的差值;
- 在适当情况下,通过改变控制变量的水平来调节差值。在这种情况下,控制变量是过程中激发信号函数的变量,从而改变过程的输出。

参 考 文 献

- [1] GB/T 3358.1 统计学词汇及符号 第1部分:一般统计术语与用于概率的术语
 - [2] ISO 7870-5 Control charts—Part 5:Specialized control charts
 - [3] ISO 7870-6 Control charts—Part 6:EWMA control charts
 - [4] ISO 10012 Management systems—Requirements for measurement processes and measuring equipment
 - [5] ISO 11462-1 Guidelines for implementation of statistical process control (SPC)—Part 1: Elements of SPC
 - [6] ISO 22514-1 Statistical methods in process management—Capability and performance—Part 1:General principles and concepts
 - [7] ISO 22514-7 Statistical methods in process management—Capability and performance—Part 7: Capability of measurement processes
 - [8] Grant L. & Leavenworth R. Statistical Quality Control. McGraw-Hill, New York, Seventh Edition, 2000.
 - [9] Ishikawa K. Introduction to Quality Control. 3A Corporation, Tokyo, Japan, 1990.
 - [10] Montgomery D.C. Introduction to Statistical Quality Control. John Wiley and Sons, New York, Fourth Edition, 2001.
 - [11] Ryan T.P. Statistical Methods for Quality Improvement. John Wiley and Sons, New York, Second Edition, 2000.
 - [12] Shewhart W. A. Economic Control of Quality of Manufactured Product. Van Nostrand, D. Inc., New York, 1931. Republished by American Society for Quality (1980).
 - [13] Statistical Process Control (SPC). ASQ and AIAG, Second Edition, 2005.
 - [14] Tanque N.R. The Quality Toolbox. ASQ Quality Press, Second Edition, 2004.
 - [15] Wheeler D.J. Understanding Variation: The Key to Managing Chaos. SPC Press, Tennessee, Second Edition, 1999.
 - [16] Wheeler D. J. & Chambers D.S. Understanding Statistical Process Control. Addison-Wesley Publishing Company, 2010.
-