

基于 SPC 控制图模型的过程质量管理可配置系统设计

董绪琪 李彦林 张永仕

(中车青岛四方机车车辆股份有限公司 山东 青岛 266111)

摘要: 过程控制工具 SPC 通过借助数理统计方法对质量生产过程分析评价。本文基于 SPC 控制图模型, 设计了一个过程质量可自主配置的系统。该系统不仅支持用户根据不同的应用场景实现 SPC 八大判异准则结合控住图(均值、标准差、单值、移动极差、极差、u 控制图、c 控制图)在线自定义配置, 有利于 SPC 控制图计算、分析的准确性的提高, 而且设有预报警功能可以及时将过程系统性因素出现的征兆推送给相关负责人, 从而达到控制质量、提高质量问题处理效率的目的。

关键词: SPC 控制图; 可配置系统; 过程质量管理; 八大判异准则

0 引言

产品的质量受许多生产环节影响, 对产品质量起关键影响的是关键工序。针对过程质量的关键工序的受控状态监控分析工具是 SPC 控制图。传统的 SPC 计算利用手工录数, 再导入计算机进行统计分析, 不仅费时费力, 且存在录入数据错误, 影响结果的准确性。传统的方法对数据分析的实时性也不支持, 不利于部门之间的协调配合。

如何将 SPC 控制图更准确、灵活、及时协调信息, 成为信息化发展一个重要研究方向。刘琳等人研究了基于 SPC 控制图的汽车制造企业过程质量监控与改进系统设计, 并未研究到如何利用计算机建立一个通用的可配置系统。本文利用大数据框架, 建立了一个基于 SPC 控制图模型的过程质量管理可配置系统。

1 模型逻辑

本文要研究基于 SPC 控制图模型的过程质量管理可配置系统设计, 系统业务涉及车体、转向架、总装、供方等多区域, 后期其他区域也可使用, 故区域支持自主配置, 达到增减区域的功能效果。同时 SPC 八个判异准则支持自主配置, 默认选中第一条, 可进行修改; 控制图包含 7 个, 分别为均值、标准差、单值、移动极差、极差、u 控制图、c 控制图, 7 个控制图可自行组合, 也可单独使用。控制图计算逻辑分为两种方式, 一是自主手动配置控制上限、控制下限和中心线值; 二是首先人工选择参数, 然后用选择的参数经过公式计算得出控制上限、控制下限和中心线值。对于分析字段, 可自主选择, 但分析字段必须为一个, 同时要求必须为数值类型。

系统是基于数据治理工具进行数据抽样采集, 将数据导入大数据治理平台进行数据的处理, 将处理后的数

据进行模型算法的计算。系统支持用户可选择不同的模型进行组合配置计算。

1.1 模型的取数逻辑

不同类型的 SPC 控制图计算前, 第一步: 依据业务方确定计算的实时值对应的数据字段名称, 子组(子组 1, 子组 2, 子组 3, ...)对应的数据字段名称; 第二步: 将确定的子组对应名称及实时值对应的数据字段名获取数据, 将数据默认按时间进行倒序排列; 第三步: 依据不同业务需求控制图要展示的不同数据点数, 来确定 SPC 计算的子组号(如控制图横坐标按生产编号, 则组数为生产编号 1、生产编号 2、生产编号 3、...).

1.2 模型的算法

7 大控制图均值、标准差、单值、移动极差、极差、u 控制图、c 控制图算法。

1.2.1 均值控制图(控制图)和标准差控制图(S 控制图)计算逻辑

根据取数的子组(子组 1, 子组 2, 子组 3, ...), 子组号(如控制图横坐标按生产编号, 则子组号为生产编号 1、生产编号 2、生产编号 3、...), 按照所取子组号对应的时间范围, 升序(按着时间顺序从远到近的排列)计算均值控制图、标准差控制图。

例如: 每个生产编号所对应的子组数有 3 个, 均值控制图一共展示 24 个点数, 则取 24 个子组号来计算 SPC 均值控制图、标准差控制图。

均值:

子组号 1: 均值 1 = (子组 1 值 + 子组 2 值 + 子组 3 值 + ... + 子组 n 值) / n

标准差:

$$\text{标准差 } 1 = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_{1j} - \bar{x}_1)^2}{n-1}}$$

其中, n 是子组数量, 本例中, x_{11} 为子组 1 值, x_1 在此处为均值 1。

……

一直计算完 n 个子组号, 求出 n 个均值 (均值 1, 均值 2, …), n 个标准差 (标准差 1, 标准差 2, …)

根据上述求得的 n 个均值、标准差, 算出一个总的均值 μ , 标准差 σ , 用来计算控制限及中心线。

均值控制限:

(1) 若有均值控制图的控制上限、中心线、控制下限的计算公式, 则通过公式求出控制上限、中心线、控制下限。

如: $CL=\mu$; $UCL=\mu+1.954\sigma$; $LCL=\mu-1.954\sigma$

其中, μ 、 σ 为上面求得的总均值 μ 、标准差 σ , 带入控制限公式, 得到控制上限、中心线、控制下限。

(2) 若均值控制图的控制上限、中心线、控制下限为确定的数值, 则无需再通过公式计算。

标准差控制限:

(1) 若有标准差控制图的控制上限、中心线、控制下限的计算公式, 则通过公式求出控制上限、中心线、控制下限。

如: $CL=\sigma$; $UCL=2.568\sigma$; $LCL=0$

其中, σ 为上面求得的总标准差 σ , 带入控制限公式, 得到控制上限、中心线、控制下限。

(2) 若标准差控制图的控制上限、中心线、控制下限为确定的数值, 则无需再通过公式计算。

1.2.2 单值控制图 (I 控制图) 计算逻辑

此处考虑多个子组的单值控制图和只有一个子组的单值控制图两种情况。

情况一, 多个子组的单值控制图。

根据取数的子组 (子组 1, 子组 2, 子组 3, …), 子组号 (如控制图横坐标按生产编号, 则子组号为生产编号 1, 生产编号 2, 生产编号 3, …), 按照所取子组号对应的时间范围内, 升序计算单值控制图。

例如: 转向架的空簧压降值有 2 个子组, 一共取 16 子组号, 进行单值控制图计算。

单值控制图 - 均值:

子组号 1: 均值 1 = (子组 1 值 + 子组 2 值) / 2

……

一直计算完 16 个子组号, 求出 16 个均值 (均值 1, 均值 2, …)

情况二, 只有一个子组的单值控制图。

根据取数的子组 (子组 1), 只有一个子组, 子组号 (如控制图横坐标按生产编号, 则子组号为生产编号 1, 生产编号 2, 生产编号 3, …), 按照所取子组号对应的时间范围内, 升序计算单值控制图。

例如: 转向架的空簧压降值有 1 个子组, 一共取 16

子组号, 进行单值控制图取数。

单值控制图 - 单值:

子组号 1: 子组值 1

……

取出 16 个子组号, 对应的单值 (子组值 1, 子组值 2, …)

控制限:

(1) 若有单值控制图的控制上限、中心线、控制下限的计算公式, 则通过公式求出控制上限、中心线、控制下限。

(2) 若单值控制图的控制上限、中心线、控制下限为确定的数值, 则无需再通过公式计算。

1.2.3 移动极差控制图 (MR 控制图) 计算逻辑

此处考虑多个子组的移动极差控制图和只有一个子组的移动极差控制图两种情况。

情况一, 多个子组的移动极差控制图。

根据取数的子组 (子组 1, 子组 2, 子组 3, …), 子组号 (如控制图横坐标按生产编号, 则子组号为生产编号 1, 生产编号 2, 生产编号 3, …), 按照所取子组号对应的时间范围内, 升序计算移动极差控制图。

例如: 转向架的空簧压降值有 2 个子组, 一共取 16 子组号, 进行移动极差控制图计算。

第一步, 计算单值控制图 - 均值:

子组号 1: 均值 1 = (子组 1 值 + 子组 2 值) / 2

……

一直计算完 16 个子组号, 求出 16 个均值 (均值 1, 均值 2, …)

第二步, 计算移动极差:

移动极差 1 = |子组号 2 的均值 2 - 子组号 1 的均值 1|

……

一直计算完 16 个子组号, 求出 15 个移动极差 (移动极差 1, 移动极差 2, …), 展示图横轴默认从第二个子组号展示。

情况二, 只有一个子组的移动极差控制图。

根据取数的子组 (子组 1), 子组号 (如控制图横坐标按生产编号, 则子组号为生产编号 1, 生产编号 2, 生产编号 3, …), 按照所取子组号对应的时间范围内, 升序计算移动极差控制图。

例如: 转向架的空簧压降值有 1 个子组, 一共取 16 子组号, 进行移动极差控制图计算。

第一步, 取出单值控制图 - 单值:

子组号 1: 子组值 1

……

一直取出 16 个子组号, 取出对应的 16 个单值 (子组值 1, 子组值 2, …)

第二步, 计算移动极差:

移动极差 1=| 子组号 2 的单值 2- 子组号 1 的单值 1 |
.....

一直计算完 16 个子组号, 求出 15 个移动极差 (移动极差 1, 移动极差 2, ...), 展示图横轴默认从第 2 个子组号展示。

控制限:

(1) 若有移动极差控制图的控制上限、中心线、控制下限的计算公式, 则通过公式求出控制上限、中心线、控制下限。

(2) 若移动极差控制图的控制上限、中心线、控制下限为确定得数值, 则无需再通过公式计算。

1.2.4 极差控制图 (R 控制图) 计算逻辑

根据取数的子组 (子组 1, 子组 2, 子组 3, ...), 子组号 (如控制图横坐标按生产编号, 则子组号为生产编号 1, 生产编号 2, 生产编号 3, ...), 按照所取子组号对应的时间范围内, 升序计算移 R 控制图。

例如: 转向架的空簧压降值有 3 个子组, 一共取 16 个子组号, 进行 R 控制图计算。

计算 R 控制图极差:

子组号 1: 极差 1=| 子组内最大值 - 子组内最小值 |
.....

一直计算完 16 个子组号, 求出 16 个极差 (极差 1, 极差 2, ...)

若有 N 个子组, 计算 R 组内极差一直都是用子组内最大值减去最小值。

控制限:

(1) 若有 R 控制图的控制上限、中心线、控制下限的计算公式, 则通过公式求出控制上限、中心线、控制下限。

(2) 若 R 控制图的控制上限、中心线、控制下限为确定得数值, 则无需再通过公式计算。

1.2.5 单位不合格数控制图 (u 控制图) 计算逻辑

当数据不可计量时, 选择用单位不合格品数控制图 (u 控制图), 取控制图横坐标展示的样本号数量 (如探伤的 u 控制图横坐标展示的是构架编号, 如取 30 个), 计算样本中的单位不合格数。单位不合格数的计算公式如下:

$u = \text{样本中的不合格数} / \text{样本量} = c/n$

式中: u - 单位不合格数;

c - 样本中的不合格数;

n - 样本量。

c 和 n 均为已有数据。

控制限:

(1) 若 u 控制图的控制上限、中心线、控制下限的计算公式, 则通过公式求出控制上限、中心线、控制下限。

以转向架探伤焊缝数量为例:

探伤的 u 控制图横坐标展示的是构架编号, 如取 30 个构架编号, c_i 为 30 个构架编号中的不合格数的总和, n_i 为 30 个构架编号中的样本量的总和, n 为 30 个构架编号对应的样本量, 求平均单位不合格数 $\bar{u}$:

$$\bar{u} = \frac{c_i}{n_i} = \frac{529}{444} = 1.19$$

$$CL_u = 1.19$$

$$UCL_u = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}/n} = 1.19 + 3\sqrt{1.19/4} = 2.8$$

$$LCL_u = \bar{u} - 3\sqrt{\bar{u}/n} = 1.19 - 3\sqrt{1.19/4} = -0.4$$

若 LCL_u 为负, 则取 0。

(2) 若 u 控制图的控制上限、中心线、控制下限为确定得数值, 则无需再通过公式计算。

1.2.6 c 控制图计算逻辑

当数据不可计量时, 选择用 c 控制图, 取控制图横坐标展示的样本号数量 k (如轴箱体的 c 控制图横坐标展示的是轴箱体编号), c 为样本中的不合格数。其中, k、c 均为已有数据。

控制限:

(1) 若 c 控制图的控制上限、中心线、控制下限的计算公式, 则通过公式求出控制上限、中心线、控制下限。

以转向架轴箱体为例:

轴箱体的 c 控制图横坐标展示的是轴箱体编号, 如 k 取 64 个轴箱体编号, c_i 为 64 个轴箱体编号中的不合格数的总和, 求平均单位不合格数 $\bar{c}$:

$$\bar{c} = \frac{c_i}{k}$$

$$CL_c = \bar{c}$$

$$UCL_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$LCL_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$$

若 LCL_c 为负, 则取 0。

(2) 若 c 控制图的控制上限、中心线、控制下限为确定的数值, 则无需再通过公式计算。

1.3 模型的判异准则

建立 SPC 模型全部 8 条判异准则, 如下:

(1) 1 个点距离中心线大于 3 个标准差;

(2) 连续 9 个点在中心线的同一侧;

(3) 连续 6 个点全部递增或全部递减;

(4) 连续 14 个点上下交错;

(5) 3 个点中有 2 个点, 距离中心线 (同侧) 大于 2 个标准差;

(6) 5 个点中有 4 个点, 距离中心线 (同侧) 大于 1 个标准差;

(7) 连续 15 个点距离中心线 (任一侧) 1 个标准差以内;

(8) 连续 8 个点距离中心线 (任一侧) 大于 1 个标

准差。

用户可根据自己的实际情况,选择适用的判异准则,为质量改进的异常判断提供参考依据。

2 可配置系统设计

本文在大数据框架的基础上,对数据进行自动化采集、抽取,上传到大数据平台。对数据进行 ETL 处理,完成异常数据的清洗、处理,及 SPC 分析数据表的抽取。将处理的结果代入模型规则进行计算,将结果进行前端页面展示。系统流程如图所示:

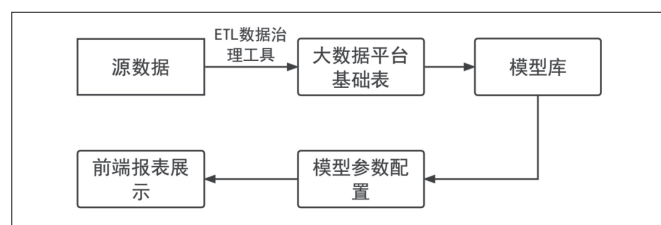


图 系统流程示意图

SPC 系统可配置页面字段为判异准则、控制上限、中心线、控制下限、分析字段及勾选控制图类型组合。

SPC 参数配置:

(1) SPC 判异准则: 8 大判异准则可配置选择适用一条或多条准则。

(2) 可勾选控制图类型,可单选一种控制图或者多种控制图组合。

(3) 每种控制图类型可选择配置控制上限、中心线、控制下限,若不想设置控制上限、中心线、控制下限,通过公式获取控制上限、中心线、控制下限,则只需选择参数即可。

(4) 分析字段。

分析字段模块展示该模型对应数据源的所有字段,选择时,需要确认该字段是数值类型且只能勾选一个分析字段,勾选字段前面的选框即可。

若勾选非数值类型字段,则提示报错信息“分析字段类型必须为数值类型,请重新选择”。

若勾选多个分析字段,则提示报错信息“SPC 模型分析字段只能勾选一个分析字段,请重新选择”。

通过可配置系统的设计开发,搭建了一套基于 SPC 控制图的质量管控系统,随着信息化建设的完善,质量管控系统从基于业务模型向基于数据模型的跨进。

未来,基于大数据算法的系统将成为企业质量管控的核心。

3 SPC 系统监控

SPC 系统监控主要是借助控制图进行,通过配置页面的配置结果将质量生产过程的数据实时绘制成控制图,通过观察控制图的波动及设定的上下限来分析波动点是否存在异常波动,如果发现波动点出上下限范围内系统可发起预警功能,以便于及时找出原因并改进,消除异常波动点对生产过程的影响。

4 结语

本文通过可配置系统的设计,实现 SPC 控制图对不同业务场景的适用性、准确性、及时性。通过可配置系统的设计,实现企业质量智能化管控,对现场关键工序过程的监控,快速定位异常信息,帮助企业改进质量问题。同时,随着质量自动化采集数据的增多,后期质量改进可从基于业务模型到基于数据算法模型的跨越,有助于企业对质量问题进行故障诊断及故障预测,进而降低成本、提高质量。

参考文献:

[1] 刘琳,任长征.基于 SPC 控制图的汽车制造企业过程质量监控与改进系统设计[J].电子元器件与信息技术,2020,4(6):81-83.

本刊声明

近日,本刊编辑部接到部分作者反映,存在个别机构(或个人)假冒《中国机械》杂志社总编室或《中国机械》编辑部的名义向广大机械制造领域的作者征收稿件,并向作者发送了盖有非法总编室或编辑部公章(或非法电子章)的录用通知书。

在此,本刊郑重声明,《中国机械》杂志社总编室公章(防伪码:1101081749266)已于2021年5月25日公开登报声明注销作废,中国机械编辑部原公章(防伪码:1101081491290)也已于2021年4月19日公开登

报声明作废,并启用新的编辑部公章。今后如有不法机构(或个人)再以本刊总编室或本刊编辑部名义进行征稿等相关活动,属于严重侵犯本刊合法权益的违法行为,一经发现,本刊将采取法律手段,切实维护本刊的声誉与正当合法权益。请广大作者认准《中国机械》杂志社的官方投稿邮箱 jxzzs@cinn.cn,或致电编辑部,以确保作者相关权益得到有效保护。

《中国机械》杂志社

2022 年 6 月 1 日