

产品制造和装配过程认证 DMAIC 方法

汪泉发

(浙江大学西子联合研究院)

摘 要: 本文以扶梯梯级链制造和装配过程为例, 提出了一套基于DMAIC的系统化和结构化过程认证方法, 以减少过程变异, 确保过程受控和有足够能力。主要方法是先通过流程图、SIPOC、PFMEA等分析, 识别关键产品特性(KPC); 然后针对各个KPC进行MSA、控制图、过程能力分析, 了解当前过程的能力水平; 针对过程能力不达标KPC, 进行根源分析和改进, 确保过程能力达到1.33以上; 最后更新质量文件, 制定过程控制和过程能力定期跟踪计划。

关键词: 扶梯梯级链, 制造和装配过程, 过程认证, DMAIC, 质量管理

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2024.09.020

DMAIC Used for Manufacturing & Assembly ProCert of Escalator Step Chain

WANG Quan-fa

(Xizi United Institute, Zhejiang University)

Abstract: Taking the manufacturing and assembly process of escalator step chain as an example, a systematic and structured process certification method based on DMAIC is proposed to reduce process variation and ensure process control and sufficient capability. The main method is to identify the key product characteristics (KPC) through flow chart, SIPOC, PFMEA and other analysis at first; Then MSA, control chart and process capability analysis are carried out for each KPC to understand the current process capability level. For KPC whose process capability does not reach the standard, root cause analysis and improvement actions are taken to ensure that the process capability is above 1.33; finally, it is proposed to update the quality document, develop the process control and process capability regular tracking plan.

Keywords: escalator step chain, manufacturing & assembly process, process certification (ProCert), DMAIC, quality management

0 引言

在生产制造和装配过程中, 如何判断和保证过程是受控的和有能力的? 现在的方法有很多, 如: SPC、控制计划、检验表、终检测试等。但这些方法都是零散的, 缺乏系统性思考。因此, 必须从影响制造质量的六要素: 人、机、料、法、环、测等六方面, 全面控制过程的输入变异, 才能保证过程的输出。

本文提出的过程认证方法, 正是基于对质量六要素的管理, 来实现过程的管控。其总体思路是:

- ①通过DFMEA确定需要被认证的关键产品特性(KPC);
- ②然后针对KPC对现有过程进行现场评审, 找出现状下的所有问题, 对显而易见的简单问题立即整改(如果是新产品, 则跳过此步);
- ③绘制生产流程图, 并基于每一流程步骤制作SIPOC;
- ④基于SIPOC分析, 制作PFMEA;
- ⑤将PFMEA中

作者简介: 汪泉发, 副院长, 主要从事卓越绩效模式、质量管理、精益管理、质量改进、战略管理研究。

高RPN值的产品特性和过程参数放入关键特性(KC)控制清单;⑥对每一KPC进行MSA和 C_{pk} 分析,不符合要求的进行改进;⑦基于KC清单制定过程控制计划,更新工作指引和检验指引;⑧最后进行SPC监控,定期检查过程能力水平。

1 过程认证的流程

任何过程都是由供应商(S)、输入(I)、过程步骤(P)、输出(O)、顾客(C)组成,称为SIPOC模型(如图1所示)。

在制造及装配过程中,原材料、采购件、半成品、机器、工装等都是过程的关键过程输入(KPI)。将机器和工具的参数设置称为关键过程参数(KPP)。过程产出物称为关键过程输出(KPO),而KPO有一些关键特性,称为关键产品特性(KPC)。

KPC是指可测量或可检验的特性,即顾客关于形状(Form)、适配(Fit)和功能(Function)方面的要求,统称F³要求。常见的KPC如:零件的直径、

剪切强度、气孔等,产品的输出功率、噪音、振动等。因此,要识别出影响顾客F³要求的KPC,使变异最小化,并围绕目标值,使KPC过程能力达到目标值。

过程认证的目就是通过控制质量六要素,确保KPC受控和有能力的。其实施流程可借用六西格玛的DMAIC五步骤,如图2所示。

2 过程认证的实施方法

2.1 定义阶段(D)

当选定要进行过程认证的零部件或产品后,首先要基于设计阶段的图纸等信息,确定该零部件或产品的关键产品特性KPC清单。然后,画出该零部件或产品的生产工艺流程图。针对工艺流程中的每一步骤进行SIPOC分析。

以一个简单的电插头装配过程举例说明。第一个步骤“接地装配”涉及3个零件:接地销、接地卡槽和插盘,详细操作可以展开为3个(如图3所示)。

(1)将接地卡槽安装至插盘上;

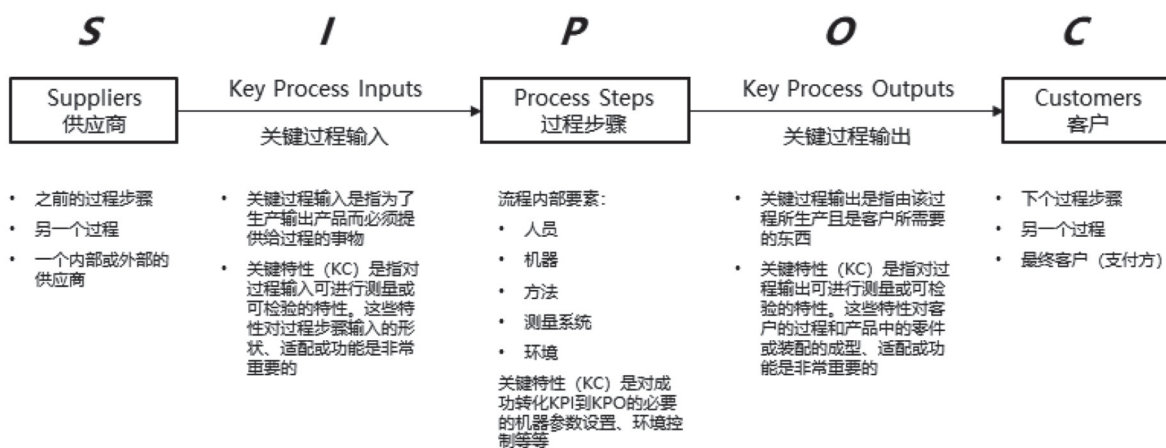


图1 SIPOC模型



图2 过程认证DMAIC流程

(2) 按压销, 直到它完全插入插盘;

(3) 按压接地销, 直到它通过卡槽插入插盘。

第1和第2个操作在操作前都需要控制点“注意方向”。

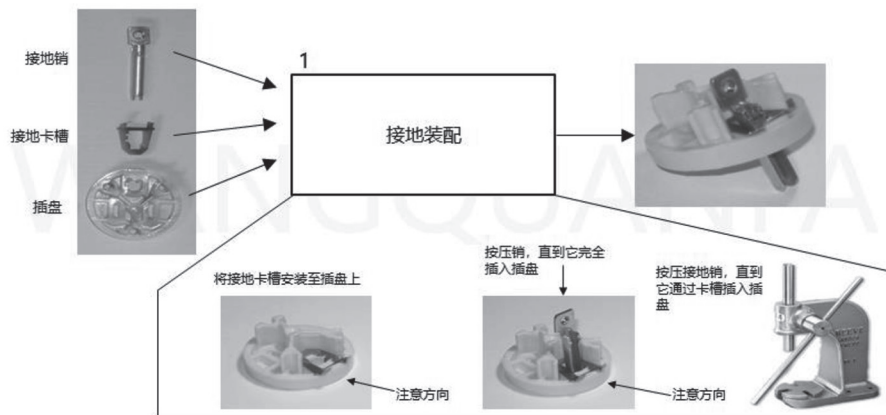


图3 接地装配步骤展开图

“接地装配”步骤不需要任何测试、测量及检验(TMI)活动, 因为过程本身就是防错的, 如果接地销、接地卡槽方向不对, 是无法安装的。此步骤以前曾经出现过的报废、返工或返修、保修(SR²)等问题有: 1) 接地卡槽丢失; 2) 接地卡槽安装方向翻转; 3) 接地销未完全固定; 4) 插入接地销后插盘破损; 5) 插盘上缺少接地销的孔位。基于以上信息, 可以得到“接地装配”步骤的SIPOC分析, 如图4所示。

从SIPOC表可以清晰看到以下信息: 1) 过程步骤序号和名称; 2) 过程步骤输出和顾客; 3) 过程步骤输入和供应商; 4) 过程步骤的具体操作和所需的工装夹具; 5) 过程步骤是否需要工作标准和特殊岗位培训或认证; 6) 过程步骤中的测试、测量及检验(TMI)活动; 7) 过程步骤内引起的所有报废、返工或返修、保修(SR²)等。

而这些信息可以作为后续PFMEA的重要输入。

PFMEA作为一个普遍应用的工具, 此处不再介绍。我们可以从PFMEA中

找出高风险的关键产品特性(KPC)和关键过程参数(KPP), 从而获得完整的关键特性(KC)清单。

以扶梯产品的梯级链为例来进一步说明。梯级链由链板、销轴、套筒、滚子等零件组装而成, 结构相对比较简单(如图5所示)。梯级链最终产品的KPC主要是链条的链长、抗拉强度、疲劳强度等。

梯级链的主要生产工艺流程是先将内链板、滚子、套筒预组装在一起, 然后将销轴和外链板预组装在一起, 最后将两个预组件与中链板组合在一起, 完成单节梯级链。按照此过程分别制定SIPOC和确定关键特性KPC数量, 详见表1。

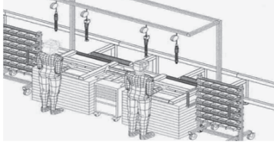
供应商	输入	过程	输出	客户
	在制品 1. 无 2. 3.	工位: 	在制品: 1. 装有接地销和接地卡槽的插盘 	过程步骤二
	零件&组件 金属模板公司 1. 接地插片 金属模板公司 2. 接地卡槽 塑胶公司 3. 插盘 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13.	序号 名称 1 接地装配	(是/否) 是 该工位是否有作业标准 否 该工位的岗位中是否有需要训练培训或认证的工作内容, 若有, 请列出来	
		装配操作: 1. 将接地卡槽放到插盘上 2. 将插片通过卡槽放入到插盘孔中 3. 将插片插入到插盘中, 直到牢固为止 4.	工装&设备: 手扳压机	
	保修 & 其他质量误工 (SR ²) 1. 接地卡槽丢失 2. 接地卡槽安装方向翻转 3. 接地插片未完全固定 4. 插入插片后插盘破损 5. 插盘上缺少接地插片的孔	测试、测量和检查 (TMI) 项目 1. 不需要TMI措施 2. 3. 4.	方法	频次

图4 SIPOC分析-接地装配步骤

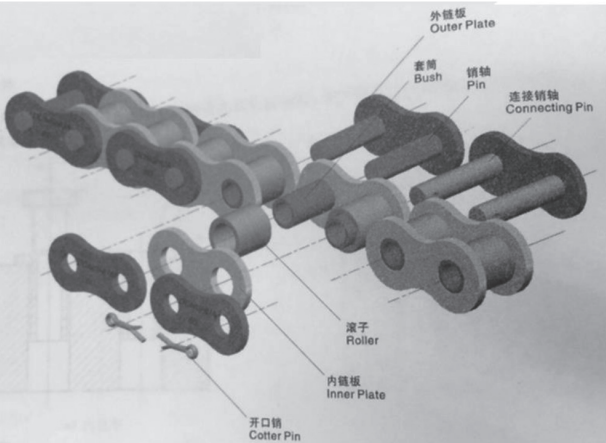


图5 梯级链的图纸和爆炸图

表1 梯级链生产过程质量文件汇总

零件名称	SIPOC	PFMEA	关键特性KPC
外链板Outer Plate	6	1	5
内链板Inner Plate	6	1	5
中链板Middle Plate	6	1	3
滚子Roller	4	1	1
套筒Bush	4	1	2
轴销Pin	7	1	3
连接轴销Connecting Pin	8	1	2
链总成Chain Assy	4	1	5

最终确定的关键特性KPC清单见表2。关键特性KPC根据重要性可分为3级：KPC-X为安全相关；KPC-F为产品功能相关；KPC-P为生产装配过程相关。

2.2 测量阶段（M）

所有关键特性在测量之前，都必须通过测量系统分析（MSA）。MSA基于被测对象的不同可分为计量型MSA和计数型MSA两种情况。

2.2.1 计量型MSA

计量型MSA，称为量具的重复性和再现性分析（GR&R）。对于计量型MSA，可用公差比（P/T）和过程比（GR&R）来衡量测量能力。

公差比，也叫精度与公差比，比较测量系统变异（R&R）和公差范围（USL-LSL），用于确定测量系统是否足够好，以评估零件与规格相比的质量。如果公差比%太大（>20%），那么评估零件的质量可能会比较困难。公差比公式如下。

$$\%P/T = \frac{R \&R}{Tolerance} = \frac{6\sigma_{MS}}{USL - LSL} \times 100\%$$

过程比，比较测量系统变异（R&R）和从样本零件观察到的总变异（TV），用于确定测量系统是否足够好，以探测过程的变化。如果%GR&R过大

表2 梯级链生产过程关键特性KC清单（部分）

零件名称	项目名称	标准	关键特性重要性分级			测量系统
			KPC-X	KPC-F	KPC-P	
外链板	孔径	φ 9.39 ± 0.02		Y		GRR
	节距	31.55 ± 0.03	Y			GRR
	硬度	HRC40-48	Y			嵌套GRR

内链板	孔径	φ 13.21 ± 0.02		Y		GRR
	节距	31.74 ± 0.03	Y			GRR

中链板	硬度	HRC40-48	Y			嵌套GRR
	抗拉强度	5500kgf/Min	Y			嵌套GRR

滚子	硬度	HRA70-77	Y			嵌套GRR
套筒	硬度	HRA77-82	Y			嵌套GRR
	渗层厚度	0.2~0.4mm		Y		GRR
销轴	油料外径	φ 9.51 ± 0.02		Y		GRR
	硬度	HRA72-78	Y			嵌套GRR

连接销轴	硬度	HRA73-78	Y			嵌套GRR
	脱碳层	表面脱碳层≤0.1mm				GRR
梯级链总成	整链长	1555.75+0-2.33\（测试荷重176kgf）	Y			GRR
	疲劳强度	300万次（测试荷重38.25KN）	Y			嵌套GRR

(>20%), 那么过程中的变化(故意调整、过程改进、过程的移动或漂移等)可能检测不出来。过程比公式如下。

$$\%GR \& R = \frac{R \& R}{TV} = \frac{6\sigma_{MS}}{6\sigma_T} = \frac{\sigma_{MS}}{\sigma_T} \times 100\%$$

如果GR&R满足要求, 但P/T较大, 不满足要求, 说明过程能力太差, %GR&R表面上是合格的, 但实际上测量系统的精度还是差的。如果P/T满足要求, 但GR&R较大, 也不满足要求, 说明测量系统的精度基本上是可用的, 只是由于过程能力太好, 过程的波动太小, 需要好得多的测量系统才能满足检测过程改进生产水平的状况。

计量型MSA接受规则如下:

GR&R (%过程比) 和PT (%公差比)		=
< 10%	优秀的量具性能	
10% to 20%	适中的量具性能	
20% to 30%	临界的量具性能, 也许不能被接受	
> 30%	差的量具性能, 通常来说不可接受	

以梯级链为例, 在测量外链板节距尺寸时, 发现公差比%P/T为49.91%不合格, 过程比%GR&R为22.35%属于临界状态, 都需要改进。通过改用精度更高的量具后, 公差比%P/T变为10.43%, 过程比%GR&R为9.95%, 通过了测量系统分析。

有些关键特性只有单边上公差或单边下公差; 有些物理特性其极限不会低于0, 如: 跳动、平面度等; 有些特性没有最小值要求, 只有最大要求(USL), 如: 噪音、振动等; 还有些特性没有最大值要求, 只有最低要求(LSL), 如: 拉伸强度、冲击强度等。对于这些单边公差的关键特性, 过程比计算方法与上面的双边公差计算方法是一样的, 没有任何影响。但对于公差比, 单边公差的计算方法与双边公差是不一样的, 需要特别注意。

单边公差测量方法是根据数据的平均值(Xbar)、USL或LSL和标准偏差s来计算。这个方法不能得到纯粹的公差比, 因为过程比值会随着过程的均值变化而变化。单边公差的MSA计算公式如下。

$$\%P/T_{\text{单边}} = \frac{3\sigma_{MS}}{USL - \bar{X}} \times 100\%$$

或

$$\%P/T_{\text{单边}} = \frac{3\sigma_{MS}}{\bar{X} - LSL} \times 100\%$$

在破坏性MSA中, ANOVA是比均值极差法更好的分析工具, 它可以反映交互作用(均值极差法则不能)。以梯级链为例, 测量外链板硬度是典型的破坏性测试, 需采用破坏性嵌套MSA。经测试, Nested GR&R为8.94%, 通过了嵌套结构的测量系统分析。

2.2.2 计数型MSA

计数型MSA, 采用的工具是属性一致性分析。计数型MSA接受规则是: 检验员本身一致性、检验员之间一致性、检验员与专家的一致性都应该足够高(90%以上), 否则, 应改进属性测量系统。在Minitab中, 计数型MSA可运行Stat>Quality Tools>Attribute Agreement Analysis, 即可获得计算属性一致性分析结果。勾选计算卡帕值κ, 即可获得卡帕值κ计算结果。

2.3 分析阶段(A)

对已识别的关键特性KPC进行数据收集, 以便进行过程稳定性和过程能力的评估。分析阶段应用的主要质量工具是控制图和过程能力分析。

2.3.1 应用控制图检查过程稳定性

一个零件的关键特性有目标值及公差范围, 假设对大量样本测量重要尺寸, 如果过程表现良好, 那么可以期待: 过程靠近目标值——居中(Centered), 过程稳定且可预测——受控(Control), 过程有能力(Capable), 简称过程3C。相反, 如果过程表现不佳, 那么会看到: 过程中心不在目标值附近, 过程不稳定且不可预测(失控), 过程能力不足。

监控过程波动的通用方法是控制图, 它预计未来测量值99.7%可能性出现在此范围中。受控过程绘出的点将会按照统计规律的可预测方式出现。如果过程随时间而稳定, 控制限定义了被测零件期望看到的变异大小。

使用较多的控制图是Xbar-R控制图。两种控制图放在一起, Xbar图为子组平均值, R图为子组极差。Xbar图监控长期过程波动, R图监控短期过程波动。

2.3.2 过程能力分析

通过控制图监控过程稳定后, 开始计算过程

能力指数。过程声音 (VoP) 是通过受控的稳定过程中的自然公差 (NT) 或自然波动 (NV) 来倾听。顾客声音 (VoC) 是通过产品规格范围 (USL - LSL), 也称零件关键特性的设计公差 (ET) 来倾听。顾客声音 $VoC=ET=USL-LSL$, 过程声音 $VoP=NT=6s$, 因此, 过程能力比率 C_p 的计算方法如下。

$$C_p = \frac{VoC}{VoP} = \frac{ET}{NT} = \frac{USL - LSL}{6s}$$

C_p 被称为是过程的潜在能力, 因为它告诉我们假设过程居中在规格目标值上, 这个过程可以表现多好。但是, 实际上大部分过程并不居中, 当过程平均值偏离规格中心时, 就不适合用 C_p 来衡量过程能力。为了解决这个问题, 坎恩 (Kane) 提出了过程能力指数 C_{pk} 。过程能力指数 C_{pk} 的计算方法如下。

$$C_{\mu} = \frac{\bar{X} - LSL}{NT/2} = \frac{\bar{X} - LSL}{3s} \quad C_{\sigma} = \frac{USL - \bar{X}}{NT/2} = \frac{USL - \bar{X}}{3s}$$

$$C_{pk} = \min(C_{\mu}, C_{\sigma})$$

C_{pk} 是 C_{μ} 与 C_{σ} 值中较小的那个, 因为较小值反映的是最坏的情况。 C_{pk} 既评估准确度、又评估精确度。

对于过程能力的 C_p 的判断标准, 柯兹与洛雷斯 (Kotz and Lovelace) 提出: 1.33 是达标值; 1.0~1.33, 短期可以勉强接受, 但必须改进; 小于 1.0, 则判定不合格。

对于过程能力的 C_{pk} 判断标准, 蒙哥马利 (Montgomery) 提出: 现有过程要达到 1.33; 对新过程或者涉及安全、强度、临界参数的现有过程, 要达到 1.5; 对涉及安全、强度、临界参数的新过程, 要达到 1.67。

以梯级链为例, 测量外链板硬度, C_p 达到 11.09, C_{pk} 为 10.73, 远远超过 1.33 或 1.67 的过程能力要求。

当单边公差的另一边出现自然或物理极限时, 一个常见的错误就是使用这个极限作为“另一边公差”, 这是错误的。无论过程的位置是否居中, 风险总是对着设计规格 (规格上限 USL) 的。可以无限地接近物理极限 0 值, 且无风险。事实上, 这正是预期目标。 C_{pu} 是根据 USL 计算而来, C_{pl} 是根据物理极限计算而来, 不管 C_{pu} 大于或小于 C_{pl} , C_{pk}

始终等于 C_{pu} 。

以梯级链为例, 测量外链板抗拉强度属于典型的单边公差 (只有 LSL)。单边公差没有 C_{pl} , C_{pl} 就是 C_{pk} , 为 10.46, 远远超过 1.67 的过程能力要求。

对于检验类属性 KPC 的能力, 可采用不良率 PPM 水平作为零件的能力。即 $PPM=2700$, 相当于 $C_{pk}=1.0$ 。 C_{pk} 指标与其对应的上、下界线 PPM 见表 3。

表3 C_{pk} 值与对应不良率 (PPM)

C_{pk} 值	下界限不良率	上界限不良率	C_{pk} 值	下界限不良率	上界限不良率
0.60	35930	71861	1.33	33	66
0.70	17864	35729	1.40	13	27
0.80	8198	16395	1.45	6.807	13.614
0.90	3467	6934	1.50	3.398	6.795
1.00	1350	2700	1.60	0.793	1.587
1.10	483	967	1.67	0.272	0.544
1.20	159	318	1.70	0.170	0.340
1.24	100	200	1.80	0.033	0.067
1.25	88	177	1.90	0.006	0.012
1.30	48	96	2.00	0.001	0.002

2.4 改进阶段 (I)

在测量阶段和分析阶段, 如果发现测量系统不合格、生产过程不稳定或过程能力不达标, 都需要进行过程改进。改进的方向主要从人、机、料、法、环、测等影响质量的六要素入手, 消除过程中的任何特殊原因导致的变异。

(1) 针对人的方面, 要确认所有操作人员是否按一致的可重复的标准工作、方法表、设备和工具的作业指导书进行作业, 工作方法对不同的操作人员是否稳健, 操作人员的培训和技能是否足够等。

(2) 针对设备, 要确认设备运行是否良好, 设备调整、参数设定和控制是否都正常; 是否有磨损或损坏的零件; 机器可否重复工作, 机器能否满足公差要求; 计算机操控的设备控制软件是否可保持过程满足设计目标。当更换了一批物料、更换了产品、程序重启后机器和过程是否能回到同样的状态。

(3) 针对物料方面, 要确认现有批是否符合公司规格要求, 此批次与其他批次是否有显著差异, 是否来自不同的供应商, 供应商是否进行过内部变更, 模具是否超过使用寿命, 是否进行过测量系统

分析和过程能力分析等。

(4) 针对环境影响, 检查照明、静电、磁性、温湿度、粉尘等因素是否合乎要求。

(5) 针对测量系统, 确认测量系统是否变异的主要来源, 测量设备是否校准。

(6) 针对生产过程本身, 如果出现过程偏移, 要设法进行过程校正, 将过程“移到”居中位置。如果过程能力太差, 必须“压缩”过程, 将过程能力提升(如图6所示)。

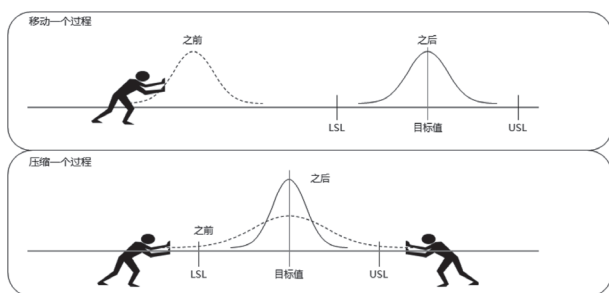


图6 “移动”和“压缩”一个过程

实际上, 要达到过程稳定和过程能力要求, 并不是很容易的。需要采用各种分析方法, 多方面分析原因, 找到根本原因, 然后针对性地采取措施。分析原因可以采用散布图、回归分析、交互作用图、多变量图、直方图、箱线图, 集中图、控制图、鱼骨图、DOE等方法。

梯级链内链板孔径规格 13.21 ± 0.02 。经检测发现, $C_p=2.78$, $C_{pk}=0.73$ 。如何改进? 这个例子中显然梯级链内链板生产过程能力是足够的, 只是发生了偏移, 所以要“移动”这个过程, 使其居中即可。经现场调查, 发现冲压孔径的冲模严重磨损, 已超过模具使用寿命。更换新冲模后, $C_p=2.78$, $C_{pk}=2.68$, 远远超过1.67的要求。

2.5 控制阶段(C)

在整个过程认证的实施过程中, 需关注4个里程碑(如图7所示)。

(1) 里程碑1: 识别KC清单;

(2) 里程碑2: 评估现有条件下的MSA和过程能力;

(3) 里程碑3: 经改进后过程能力达到1.0以上;

(4) 里程碑4: 过程能力达到1.33以上并制定定期评审计划。

原则上, 所有KC都达到过程能力1.33以上(属性数据达到同等PPM水平), 才能认为此过程被认证。当然, 有些特殊要求的KC可能要达到1.67以上才算被认证。

过程认证完成后, 需要更新相应的控制计划、工作指引、检验计划等质量文件, 并保持动态更新。另外, 比较重要的是, 要制定一份跟踪表(见表4), 将所有被认证的KC状态每月或每季度更新一次, 确保过程保持在稳定状态。

3 总结

过程认证的总体思路可以总结为图8, 它不仅可以用于现有过程的评估, 而且可以用于新产品量产前的评估。只有通过过程认证的制造和装配过程才可以说是稳定的, 受控的和有能力的。

被认证的过程不是一劳永逸的, 会一直有风险, 稳定性和过程能力对过程来说是一种非自然状态, 过程被认证仅仅是成功了一半, 过程会产生衰变。一个稳定、有能力、受控的过程一旦无人关注, 将有可能逐渐衰变成混乱状态。这就是为什么需要持续监控过程稳定性和定期进行过程能力跟踪分析的原因。

里程碑 1	里程碑 2	里程碑 3	里程碑 4
- 识别KC - 风险评估 - 制造过程评审	- 画流程图 - 进行测量系统分析 - 评估当前稳定性及能力作为基准	- 建立稳定的过程控制 - 过程能力至少达到$C_{pk} > 1.0$ (或同等 PPM 水平) - 有控制计划	- 继续并保持管理过程的活动 - 过程完全满足$C_{pk} > 1.33$ (或同等 PPM 水平) - 有审核计划

图7 过程认证4大里程碑

表4 梯级链过程认证状态跟踪表（部分）

零件	KPC类型	KC	目标值	量具	GR&R结果	C _{pk} 结果
外链板	KPC-F	孔径	9.39 ± 0.02	内径千分尺	10.48%	1.86
外链板	KPC-X	孔距	31.55 ± 0.02	节距测量仪	7.13%	2.30
外链板	KPC-X	硬度	HRC40-48	洛氏硬度计	8.90%	10.70
外链板	---					
内链板	KPC-F	孔径	φ 13.21 ± 0.02	内径千分尺	12.06%	2.58
内链板	KPC-X	孔距	31.74 ± 0.03	节距测量仪	14.32%	2.72
内链板	KPC-X	硬度	HRC40-48	洛氏硬度计	13.20%	5.90
内链板	---					
中链板	KPC-X	硬度	HRC40-48	洛氏硬度计	9.40%	8.90
中链板	---					
滚子	KPC-X	硬度	HRA70-77	洛氏硬度计	18.80%	4.40
套筒	KPC-X	硬度	HRA77-82	洛氏硬度计	16.90%	3.90
套筒	---					
小轴	KPC-F	油料外径	φ 9.51 ± 0.02	外径千分尺	3.59% 9.83%	2.29
小轴	KPC-X	硬度	HRA72-78	洛氏硬度计	20.80%	3.90
小轴	---					
连接销轴	KPC-X	硬度	HRA73-78	洛氏硬度计	18.80%	4.40
连接销轴	---					
整链	KPC-X	整链长	1555.75+0-2.33/荷重：176kgf	长度台	7.15%	2.72
整链	---					

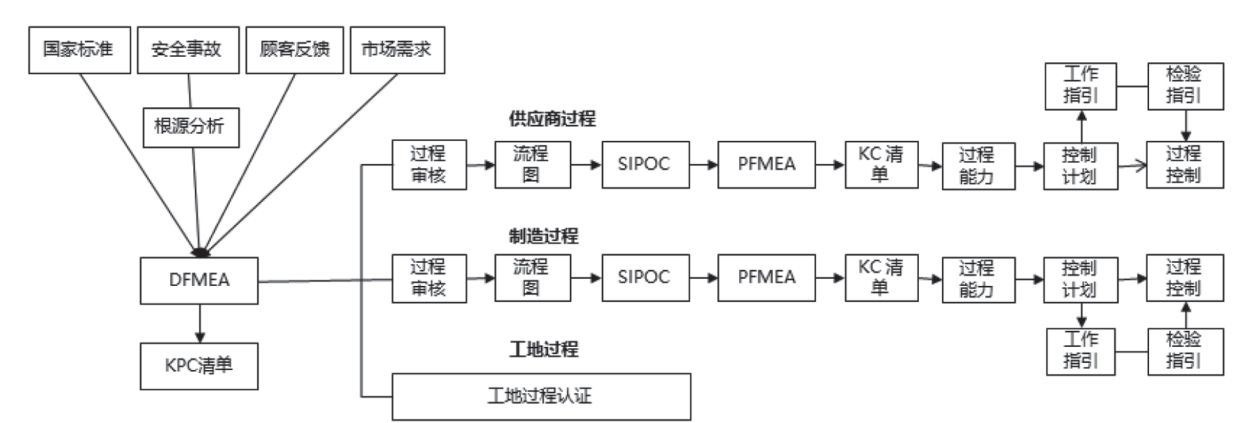


图8 过程认证总体思路

参考文献

[1] Joseph A. De Feo,主编. 朱兰质量手册——通向卓越绩效的全面指南(第7版)[M]. 中国质量协会,译. 北京: 中国人民大学出版社, 2021.

[2] Joseph M. Juran, A. Blanton Godfrey,主编. 朱兰质量手册(第6版)[M]. 焦叔斌,等,译. 北京: 中国人民大学出版社, 2014.

[3] James R, Evans, William M, Lindsay,著. 质量管理与绩效管理(第9版)[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2016.

[4] 何桢,主编. 六西格玛管理(第3版)[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2014.

[5] 马逢时,等,编. 六西格玛管理统计指南(第2版)[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2012.

[6] United Technologies Corporation[M]. Final ACE Booklet, 2015.

[7] 汪泉发,黎燕,著. 质量卓越方式[M]. 广州: 暨南大学出版社, 2011.

[8] 中国质量协会,编. 质量经理手册(第2版)[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2017.