

# 框类组件制造关键特性分析研究

刘志存<sup>1,2</sup> 邹冀华<sup>1</sup> 范玉青<sup>1</sup>

(1 北京航空航天大学机械工程及自动化学院,北京 100083)

(2 河北理工大学机械工程学院,唐山 063009)

**文 摘** 论述了将关键特性统计过程控制法引入大型框类组件制造中的方案,以解决取消钻模后的装配协调问题,确定了制造关键特性树,给出了数字化制造中关键特性的控制方法。数字化制造及关键特性控制法使大型框类组件的制造技术水平达到一个新的高度,辅以数字化测量方法圆满解决了部件之间的协调问题,为大型框类组件的制造提供了一种新型制造方法。

**关键词** 关键特性,统计过程控制,数字化

## Research and Analysis on Key Characteristics in Manufacturing Frame Kind Subassembly

Liu Zhicun<sup>1,2</sup> Zou Jihua<sup>1</sup> Fan Yuqing<sup>1</sup>

(1 School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

(2 School of Mechanical Engineering, Hebei Polytechnic University, Tangshan 063009)

**Abstract** In this paper key characteristics SPC in aircraft manufacturing is introduced to subassembly of frame kind manufacturing so as to make sections assembling corresponding after drilling pattern is abolished. And manufacturing key characteristics tree of subassembly of frame kind is confirmed. The means of controlling key characteristics is also given in digital manufacturing manner. It reaches a new height of digital manufacturing and key characteristics SPC in the subassembly of frame kind manufacturing technology. With digital measuring equipment the coordination problems of parts are solved satisfactorily, and this provides a new manufacturing method with large frame kind parts.

**Key words** Key characteristics, SPC, Digitalization

### 1 框类组件的传统制造方法

某种机械产品分成两个桶状部件装配在一起,各有一对框类组件分置部件两端,要求产品具有很高的整体同轴度和产品整体两端平行度。制造过程中主要使用钻模进行钻孔、在组装工装上进行装配,其制造过程实质上就是一个将图纸上的数据信息以实物的形式进行传递的模拟量传递方式。

传统制造技术大量使用钻模钻制不同尺寸框组件上的孔,因为结构上的原因以及装配后两部件间

的同轴度问题,互相对接的一对框组件是用同一个钻模分别加工而成,而不能配钻。由于两个框组件是用同一钻模加工出来的,所以部件间装配时相配合的两个框能够保证协调准确度。

模拟量传递方式缺陷明显:钻模制造周期长,延长了产品的制造周期;更改时要重新制造钻模,使成本上升;钻模体积大、质量大,尤其大直径钻模更重,保存占地空间大,移动不便。

### 2 框类组件数字化制造模式

收稿日期:2005-12-17

作者简介:刘志存,1965年出生,博士研究生,主要从事CAPP、飞行器数字化制造及质量管理方面的研究工作

国际上的制造技术已经使用数字化生产加工和装配方式,取得了良好的成效。为解决大尺寸产品制造的难题,有必要采取数字化生产加工和装配方式,即取消钻模。大尺寸产品取消钻模以后,相配合一对框组件只能分别独立制造,如果依然采用传统工艺设备,这样由于加工过程中误差积累,相配合的一对框组件整圈几十个螺栓孔及销孔难以保证装配过程中的协调准确度。为此,可以借鉴飞机制造中的数字化生产模式,即数字化设计、制造、装配一体化模式,从而使产品设计制造手段发生革命性变化。

在框类组件的数字化产品和工装的建模过程中,重点之一就是解决协调部位的协调设计问题,在制造中数字化协调制造。为此,这些重要部位一般需定义为关键特性,可借鉴波音公司的先进质量管理方法——关键特性统计过程控制法进行产品质量控制<sup>[1]</sup>。

### 3 关键特性概念及关键特性统计过程控制法

关键特性统计过程控制法的作用是控制关键特性,使其处于统计控制状态,是利用统计方法来分析产品的关键特性的影响因素,不断改进产品质量,预防产品缺陷的发生,而不是事后解决。

波音公司的关键特性概念:关键特性 KC 是材料、零部件或过程的特征中其变化对产品的配合、性能、服务寿命或可制造性影响最大的特性<sup>[2]</sup>。飞机的复杂性和对飞机制造的要求与框类组件有很大区别,因此根据框类组件的特点对框类组件制造的关键特性给予特殊定义。

关键特性定义:零部件及其制造过程的特征的变化对产品的装配协调准确度影响最大的特性。

由于框类组件批量有限,关键特性分为两类:第一类关键特性是有足够测量数据样本的,需进行统计过程控制,并进行过程改进;第二类关键特性是重要特征,强调特征的重要作用,着重控制特征值,样本数量很少甚至为一,不进行统计过程控制。

关键特性统计过程控制法只应用于第一类关键特性,其应用步骤为:

- (1)确定关键特性;
  - (2)制定关键特性控制计划及测量计划;
  - (3)在生产过程中测量关键特性和关键特性生产过程的波动,使关键特性处于统计控制状态;
  - (4)在关键特性不处于受控状态时或过程能力不足时要能采取纠正措施。包括确定关键特性波动
- 宇航材料工艺 2006年 第6期

源并实施控制。

实施关键特性统计过程控制可严格预防产品缺陷发生,使产品质量在稳定中不断提高,预防产品发生缺陷所花费用比返修、补偿产品缺陷所花费用要少一个数量级,因此关键特性统计过程控制法在框类组件制造中有很大的应用价值。

由于大尺寸产品取消钻模以后,部件间的协调问题成为突出的问题,如果不采取十分有效的新的质量控制方法,可能会像飞机制造过程一样,造成零件报废的严重后果。采用关键特性统计过程控制法可以提高制造过程中的协调准确度,解决产品装配中的部件协调问题。

关键特性确定以后,对于有些关键特性,需要找出对其有较大影响的工艺参数、工序及其设置,称为“关键工艺参数”,为保证关键特性处于统计控制状态,并满足工序能力要求,必须对关键工艺参数进行控制,并且将每个关键工艺参数及其设置以及相应的控制方法都应记录在关键特性控制计划中<sup>[3~5]</sup>。

关键特性控制计划及测量计划:关键特性确定以后,需要选择每个关键特性的控制图,制定每个关键特性的控制计划和测量计划,以便于指导生产中对关键特性的统计控制和测量分析。

图 1 为关键特性统计过程控制法的实施过程。它表示在产品制造周期内的不断地循环过程,一个贯穿整个制造周期的 PDCA 循环。

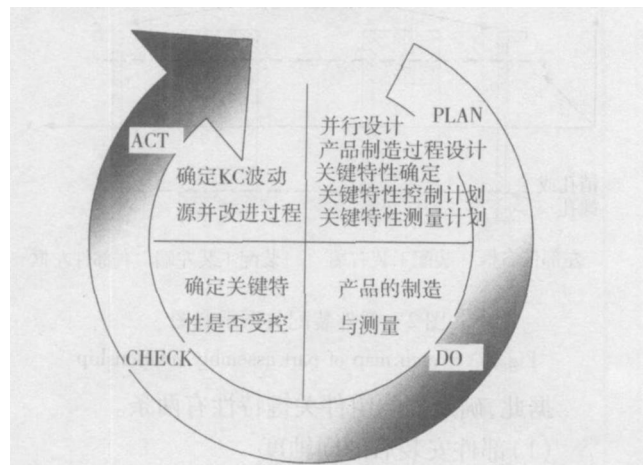


图 1 关键特性统计过程控制法

Fig 1 Key characteristics SPC

## 4 框类组件关键特性统计过程控制

### 4.1 框类组件关键特性定义

部件装配时要特别考虑到同轴度、平行度、平面度等形位公差对整体产品的影响。由于框类组件是桶形体,在部件装配时首先考虑到的就是两圆柱形部件间连接要保证同轴度要求。部件装配时,在两端面上也存在平行度问题。另外,框类组件的部件装配与一切机构的装配一样,都要满足形位公差的要求,尽量减小误差的传递,保证制造的精度。

图 2 是两个相配合的部件框组件装配关系示意图,两个部件装配时左部件在右部件的左面,因此右部件的左框与左部件的右框装配在一起。而在部件自身装配时左部件的右框装在装配工装的右端,以销孔为定位基准,沿圆周有 3 个销孔,因为框多数是大尺寸薄壁件,在装配时需要 3 个销孔在装配工装上导向并定位(过定位);右部件自身装配时其左框装在装配工装左端,同样也是以 3 个销孔定位。两个部件装配时以螺栓连接左部件右框和右部件左框,所以必须保证两个框间相配合的螺栓孔的协调准确度。另外,因为两个框有协调关系,所以装配工装的右端与左端同样具有协调关系。在传统制造方式中,相协调的一对螺栓孔或销孔是用同一钻模孔分两次加工而成,装配协调无问题,而在数字化制造中,取消钻模,相协调的螺栓孔是按独立制造原则分别加工,因此相协调螺栓孔的协调准确度是靠销孔定位来决定的,其质量控制方式发生变化。

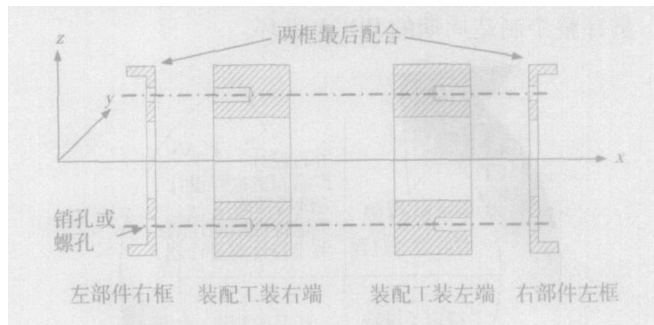


图 2 部件装配关系示意图

Fig 2 Sketch map of part assembly relationship

据此,确定框类组件关键特性有两条。

### (1) 部件安装后的同轴度

同轴度关键特性的分解:为保证部件安装后的同轴度,就必须保证两部件组装时各对螺栓孔的协调准确度,这就是关键特性第一级分解,表示为:产品整体同轴度 各对螺栓孔协调准确度。

为了保证各对螺栓孔协调准确度,就必须保证

框上螺栓孔中心相对于 3 个销孔中最近的销孔的相对位置(销孔是定位螺栓孔的基准),这是关键特性第二级分解,表示为:产品整体同轴度 各对螺栓孔协调准确度 螺栓孔相对于销孔的相对位置。

框类组件小尺寸框多为整体式,也有部分分体式;大尺寸框采用分体式,可分为三段,为的是制造和装配方便,将三段分别通过两对销孔定位于装配工装上(仍然是过定位),然后组装其他零件。分体式框在数控加工时避免了需要与框直径相当的数控回转工作台的要求,采用普通数控机床即可加工各框。分体式框的关键特性定义与分解与整体式相同。

螺栓孔相对于销孔的相对位置关键特性难于测量和控制,同时每个螺栓孔中心与销孔的相对位置不同,不便于进行统计过程分析和控制。

将螺栓孔相对于销孔的相对位置关键特性继续向下分解为螺栓孔本身在坐标系中的位置度和作为基准的销孔在坐标系中的位置度,同时为了使 3 个销孔的过定位能够准确可行,两个框及装配工装两端的各 3 个销孔必须分别保证足够位置度,而且销孔本身应该有足够准确的直径。为此,将同轴度关键特性分解如下:产品整体同轴度 各对螺栓孔协调准确度 螺栓孔相对于销孔的相对位置 螺栓孔的位置度 + 框上销孔位置度 + 销孔直径。

框关键特性分解到装配工装上就是:相协调的装配工装右端及左端上螺栓孔相对于销孔的位置(基准为销孔中心) 相协调的装配工装右端及左端上销孔的位置度 + 装配工装右端及左端上螺栓孔的位置度 + 装配工装右端及左端的同轴度 + 装配工装右端及左端上销孔直径。

同轴度关键特性分解成关键特性树,见图 3。

### (2) 框类组件整体左框与整体右框之间的平行度

平行度关键特性的分解:要保证“整体左框与整体右框之间的平行度”这个关键特性,就要将之向下分解,各部件的左右框的平行度就成为关键特性。

为了保证该关键特性,就需要保证装配工装右端与左端的平行度,这就是装配工装的平行度关键特性。

继续向下分解:由于装配工装右端放置在一个过渡柱体左端,放置装配工装右端的柱体左端面与工装左端的平行度、过渡柱体的两端面的平行度、过渡柱体与左端的垂直度。所分解的平行度关键特性树见图 4。

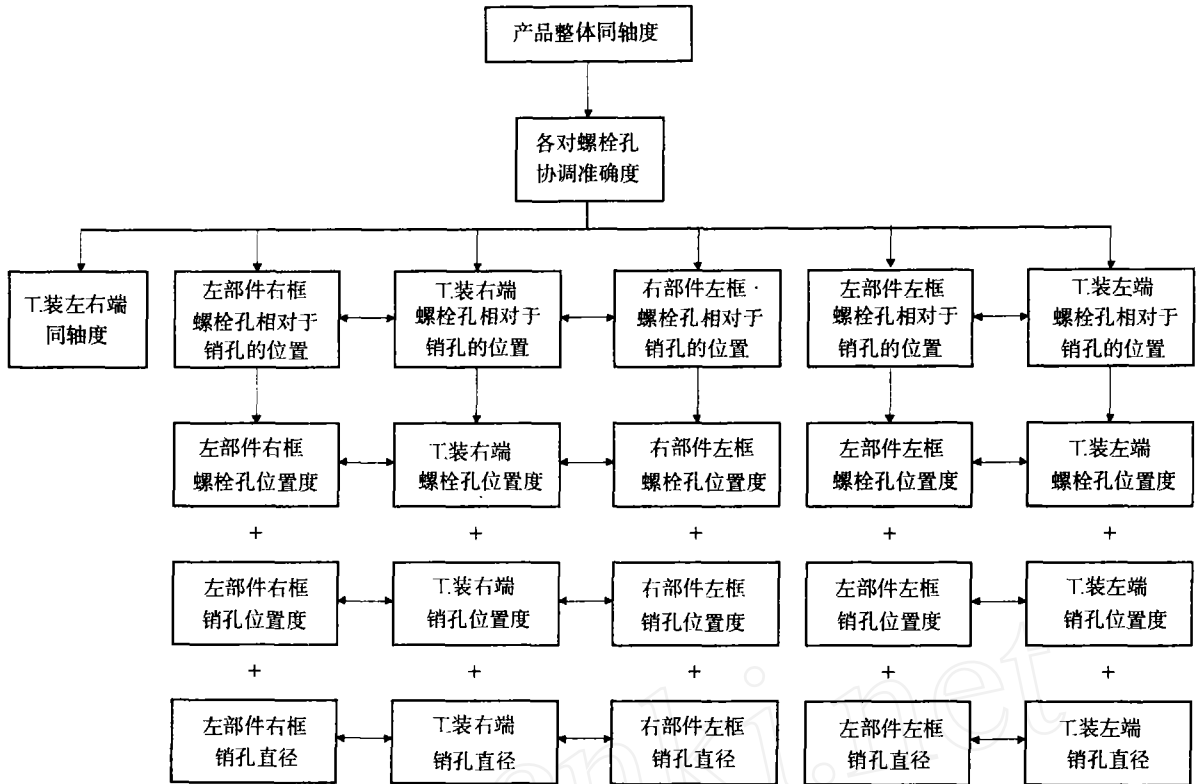


图 3 产品同轴度关键特性树

Fig 3 Key characteristics tree of product axuality  
双向箭头表示互相协调。

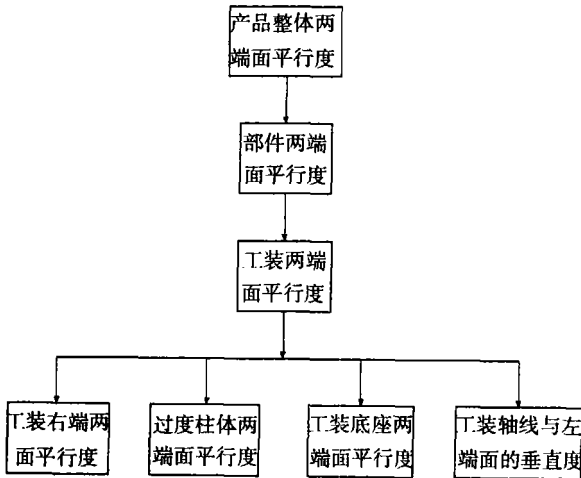


图 4 平行度关键特性树

Fig 4 Key characteristics tree of parallelism

#### 4.2 关键特性在制造过程中的控制与保证

为了在制造过程中控制关键特性,数字化定义

需按下列方式进行。

(1)定义相协调的两个框时,左部件右框螺栓孔及销孔的设计以框中心线为基准,右部件左框的螺栓孔及销孔的位置从左部件右框上各自相对应的螺栓孔及销孔的位置提取,保证设计准确协调。

(2)装配工装右端与左端上的螺栓孔和销孔分别从各自对应的框上的孔提取位置特征,保证数字化设计协调。

(3)制造时框孔的加工一次成型,并且相协调的一对框孔的加工顺序应该相反以尽量减少走刀累计误差,同理工装右端和左端上孔的加工顺序也应该反向。

(4)制定关键特性控制计划时给出关键特性的工程规范、测量关键特性的工步、选用的控制图、样本量、抽样频率、量具及量具能力、关键过程参数设置值等,指导在生产过程中着重对关键特性进行控制;关键特性测量计划中给出关键特性的测量工序、测量方法及步骤、测量图解。

制造过程中对关键特性控制的步骤如下:

(a)根据生产中的测量数据绘制控制图,对关键特性进行监控并保持控制图;

(b)确定关键特性是否受控。如果关键特性的测量点接近控制限,虽然说明过程并未失控,但已经是过程产生变化的预兆,因此必须采取纠正措施;

(c)如果过程失控必须寻找波动源以便采取纠正措施。

(5)生产过程中控制的是关键特性最后一级,即螺栓孔的位置度、销孔的位置度、销孔直径、装配工装左右端同轴度,基准就是框及工装的中心线。

(6)为了保证装配时使得相协调两框能够协调组装,在装配工装右端和左端装配到装配工装上时要用数字化测量设备瞄准各自的销孔位置进行定位。

(7)工装上的关键特性属于第二类关键特性,由于样本量唯一,所以不进行统计过程控制,但必须保证关键特性值且进行定期检查。

## 5 结论

框类组件的数字化制造方式有效地解决了传统

制造方式的难题,显著降低了制造成本并缩短了制造周期;而关键特性统计过程控制技术应用于框类组件的制造可以解决大尺寸产品数字化制造中的协调难题并使产品质量稳定。

## 参考文献

- 1 王巍. AQS在波音飞机舱门上的应用. 航空制造技术, 2003; (7): 62~67
- 2 庄建平. 先进质量体系(AQS)在沈飞民机生产上的应用研究. 北京航空航天大学硕士学位论文, 1999
- 3 王惠琴, 王克学. 产品特性过程能力波动研究的新方法. 计量技术, 1998; (2): 2~5
- 4 Mathieu L, Marguet B. Integrated design method to improve producibility based on product key characteristics and assembly sequence. Annals of CIRP, 2001; 5(1): 85~88
- 5 Lee D J, Thomson A C. The identification and use of key characteristics in the product development process. In: Proceedings of the 1996 ASME design engineering technical conferences and computers in engineering conference, Irvine, California, 1996: 1~14

编辑 李洪泉)

(上接第 55 页)

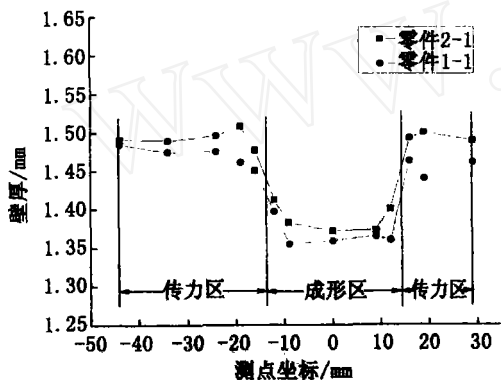


图 11 零件壁厚分布

Fig 11 Distribution of part's thickness

零件 1-1 在膨胀区与内圆角  $r_2$  相切处减薄最大, 壁厚为 1.35 mm, 在整个膨胀区的减薄也较大。该零件补料较少, 仅 20.67 mm, 各处壁厚均有所减薄。

零件 2-1 在膨胀区与内圆角  $r_3$  相切处减薄最大, 壁厚为 1.37 mm, 在整个膨胀区的减薄也较大。在变径端与外圆角  $r_1$  相切处、非变径端与外圆角  $r_4$  相切处, 壁厚稍有增大。

零件 1-1 轴向进给量为 20.67 mm, 零件 2-1 轴向进给量为 22.25 mm, 零件 2-1 各处壁厚均大于 1 号零件, 控制轴向进给量可以有效控制零件的壁厚。两零件的壁厚均大于 1.3 mm, 满足设计要求。

## 5 结论

— 60 —

采用焊制的管坯, 在内高压成形机上进行了成形试验研究, 并对零件尺寸与成形缺陷进行了分析, 得出以下结论。

(1) 使用的外径 161 mm, 壁厚 1.5 mm 的 1Cr18Ni9Ti 激光焊管, 在 15~30 MPa 内压区间进行轴向进给, 轴向进给量介于 21.5~22.8 mm 间, 能够获得外形尺寸与壁厚均合格的零件。

(2) 轴向进给量对成形结果影响很大, 轴向进给量小, 圆角成形困难; 轴向进给量大, 有利于成形圆角, 但轴向进给量过大, 容易形成内凹现象。控制轴向进给量是成形合格的零件的关键。

(3) 成形零件轴向壁厚分布为: 在胀形区壁厚减薄较大, 传力区减薄小, 局部壁厚可能增大; 轴向进给量大的零件壁厚减薄量小。

## 参考文献

- 1 苑世剑, 王仲仁. 内高压成形应用研究. 中国机械工程, 2002; 13: 783~786
- 2 Dolmann F, Hartl Ch. Tube hydroforming-research and practical application. J. Mater. Proc. Technol., 1997; 71: 174~186
- 3 苑世剑. 我国内高压成形技术现状与进展. 锻压技术, 2004; 3: 1~6
- 4 刘钢, 谢文才等. 大截面差空心件内高压成形研究. 材料科学与工艺, 2004; 12(4): 398~401
- 5 苑世剑, 苗启斌, 王仲仁. 轿车后轴纵臂内高压成形研究. 金属成形工艺, 2004; 22(3): 1~3

(编辑 任涛)

宇航材料工艺 2006年 第6期