

# 大型飞机复合材料双曲面组件的装配

魏洪峰

(航天特种材料及工艺技术研究所,北京 100074)

**文 摘** 阐述了产品生产中,通过可预见性的模型计算与数字拟合装配、气动外缘公差尺寸链的分析,制定零件公差状态、调整工装设计补偿量、进行数字化工程数据控制,进而在装配过程中采用多种数字化手段:如激光跟踪仪的使用,CATIA 的现场数字拟合产品零件最优装配等,进行数字装配时的工艺补偿。此种装配方案能够减少或避免干涉,确保按规范要求顺利完成复合材料结构件的装配;降低了组件的超差率,从而节省产品的生产成本;减少了装配过程中的误差累积,能够把产品的气动外形控制在设计要求公差的十分之一。

**关键词** 装配,飞机气动外形,工程数据数字化控制,数字拟合装配

## Assembly for Large Aircraft Composite Hyperboloid Components

Wei Hongfeng

(Aerospace Special Materials and Technology Research Institute, Beijing 100074)

**Abstract** In this paper, a method is provide to determine the tolerances of the components based on computation of digital model and data fitting, tolerances chain analysis on the aerodynamics edges, combining with equalized tool design and process control of model based design (MBD) model. Varsity of digital methods, such as laser tracker and data fitting between MBD model and the product, is adopt to equalize the tolerances during assembling. The structural interference can be avoided with this technique, making the product meet the demand of the delivery specifications. Besides, it decreases the rates of tolerance exceeding and the cost of manufacturing. The accumulated tolerance of aerodynamics can be reduced to 10% of designed demands during assembling with the method.

**Key words** Assembly, Aircraft aerodynamic, Engineering data digital control, Digital fitting assembly

### 0 引言

碳纤维增强复合材料(CFRP)在航空航天领域中应用广泛,已发展成为继铝、钢、钛之后的第四大航空航天结构材料之一。但复合材料零组件几何尺寸波动较大,结构间易产生干涉,给装配定位以及零件的搭配和套合带来很大困难;装配件协调关系较复杂,一旦出现超差很难修复,可能导致整个组件的报废,增加了研发成本;一切零件制造误差以及装配误差最终将会积累到总装,影响产品整体的气动外形。

### 1 产品结构概况

某机型后机身后段主要采用复合材料制造,为桶形结构(图1),全长2 379 mm,前端面尺寸为2 114 mm×1 816 mm,后端面尺寸为1 221 mm×1 148 mm,主要结构有:1~5框、4块蒙皮壁板、维护门、周向防

火墙、纵向加强件及连接件组成。其中复材件60多个,重约110 kg。

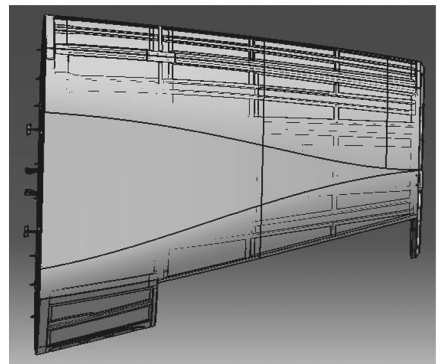


图1 后机身后段结构示意图

Fig.1 Aft fuselage segment structure diagram

收稿日期:2011-10-27;修回日期:2012-03-19

作者简介:魏洪峰,1980年出生,工程师,主要从事大型客机复材组件数字自动化装配技术研究与应用。E-mail:weihongfeng1980@126.com

2.1 复合材料共固化大组件零件的公差控制

Tab. 1 Tolerance analysis table

飞机装配是将相互关联的零件组合成装配件,再组合成部件,最终组合成飞机,尤其是共固化的复材零件。由于加工中的种种原因,实际上不可能把零件做得绝对精确并同理想完全相符,总会产生一些偏差,因此每个零件都有规定的加工公差,装配时这种误差的积累就会影响飞机的装配精度及协调性,组成的零件越多,不协调问题越严重,解决起来越困难。

$\Delta A_i/\text{mm}$	$\delta(A_i)$	$m(A_i)$	$\delta_2(A_i)$
$\Delta A_1 = -0.20$	0.20	-0.10	0.04
$\Delta A_2 = \pm 0.15$	0.30	0	0.09
$\Delta A_3 = \pm 0.20$	0.40	0	0.16
$\Delta A_4 = \pm 0.20$	0.40	0	0.16
$\Delta A_5 = \pm 0.25$	0.50	0	0.25
$\Delta A_6 = \pm 0.20$	0.40	0	0.16
$\Delta A_7 = \pm 0.79$	1.58	0	2.50
$\Sigma$		-0.10	3.36

解决误差积累造成的不协调问题是协调问题解决中最困难的问题。因为无论单独检查协调路线中哪一个环节,甚至把协调路线中的每一个环节都逐步检查完毕,还是查不出问题,因为各个环节都符合图纸及技术要求规定的尺寸和容差。问题就出在误差积累上<sup>[1]</sup>。图 2 为协调路线图。

注:1) $\delta(A\Delta) = \sqrt{3.36} = 1.833$ 。

按表 1 计算可得

$$B_y(A\Delta) = -0.10 + 1.833/2 = 0.817$$

$$B_x(A\Delta) = -0.10 - 1.833/2 = -1.017$$

根据计算结果可知,平尾连接组件与装配夹具的配合误差宽度之半为 0.917 mm,积累误差的上下限为 +0.917 和 -1.017 mm。由于机加车间加工的接头零件在正常状态上,为降低零件加工难度,基本上都处于最大实体状态,即极限正公差状态,如果没有编制相应零件状态表,控制零件公差,最终会造成平尾连接组件与装配夹具严重干涉。

最终解决方案为状态表规定  $\Delta A_3 = -0.20, \Delta A_5 = -0.20, \Delta A_7 = -0.20$ ,从而保证了产品与工装的贴合,为后期总装保证了气动外形。这样虽然把零件公差缩小为原来公差的 50%,以现有工艺技术完全可以达到要求,但是加大了复材零件的成型难度,增加了零件工装成本,而考虑到整体装配质量,在后期完全保证了气动外形的要求,不会因为后期的工艺补偿而影响气动外形,综合考虑,总的成本是下降了,产品质量提高了。

2.2 温度变化引起的不协调问题及解决方法

实际上装配工装往往是由线胀系数不同的材料构成的。再加上装配工装装配结构复杂,以及装配工装和被装配件的内应力分配不均匀。因此,我们只能对温度误差的变化进行定性分析。在一些简单的情况下方可进行定量估算<sup>[2]</sup>。在实际生产过程中,增加工装 NC 卡板相应计算的工艺补偿,最后结合激光跟踪仪的拟合结果进行最后的调整,来解决温度带来的变形问题,而且简单易行,成本低廉。

3 装配协调部段后段的气动外形

某机型部段后段以骨架为装配基准保证气动外缘,其公差为  $\pm 0.76$  mm,总装型架只有外形检验卡板,无外形定位卡板,气动外缘公差由骨架外形(壁板内缘)控制。其中 1 框 ~ 4 框采用的是 K 孔定位,

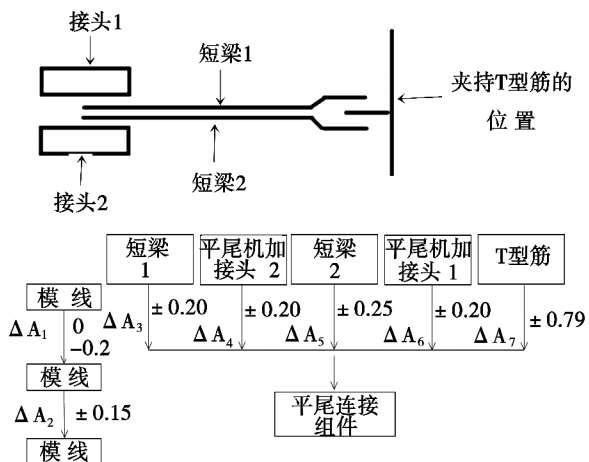


图 2 协调路线图

Fig. 2 Coordination of road map

分析处理这类协调问题的一般需要运用尺寸链和概率论理论。解决这类问题一般需要采用在装配工艺编制状态表时对零件的正负公差进行规定,从而严格控制组件在部装到总装各个环节的状态。

考虑到各组成环的公差基本上都是对称分布的,只有个别环节的公差不是对称的,因此采用公差带中点坐标法进行如下计算:

在封闭环尺寸为组成环尺寸的代数和的前提下,即

各组成环公差带中心相对于基本尺寸的坐标  $m(A_i)$

$$m(A_i) = 1/2 \times [B_s(A_i) + B_x(A_i)] \quad (1)$$

封闭环公差带中心相对于基本尺寸的坐标  $m(A\Delta)$  和上、下偏差  $B_x(A\Delta)$  计算如下:

$$B_x(A\Delta) = m(A\Delta) \pm \delta(A\Delta)/2 \quad (2)$$

$$\delta(A\Delta) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \delta^2(A_i)} \quad (3)$$

计算过程及结果见表 1。

结合检验外形卡板,运用激光跟踪仪的拟合方法,对现场出现产品零件加工公差,进行最佳状态拟合的一

个装配过程。下面是气动外形公差链关系的分析。图3为部段后段气动外形的公差尺寸链。

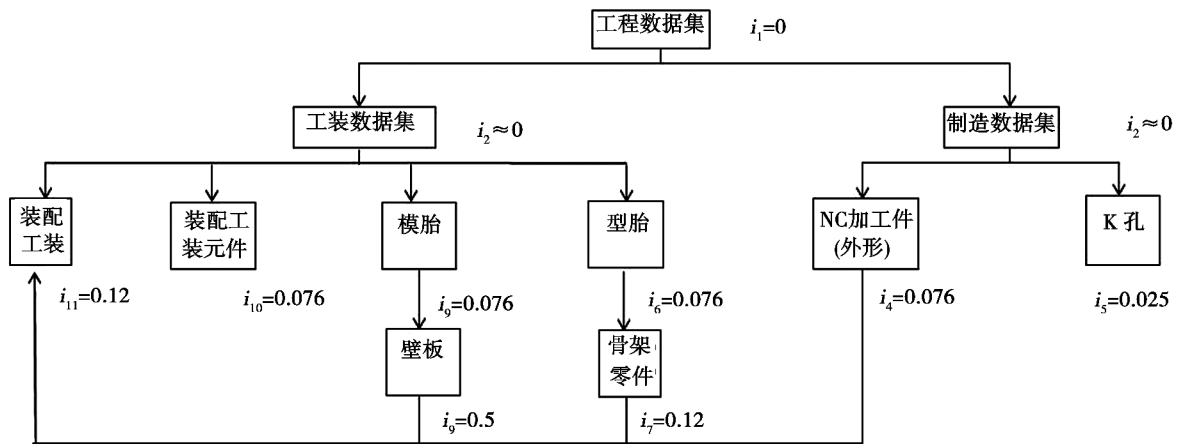


图3 气动外形的公差尺寸链

Fig.3 Aerodynamic shape tolerances chain

在此次某机型部段后段的装配上我们引进国外先进工艺,结合多年来在实际工艺实践的经验,采用如下方法,保证产品的启动外形。

某机型部段后段采用的是骨架定位方式,由于产品是有误差的,影响气动外形的主要有骨架零件的外形曲面与K孔的定位,而这两项最终的公差积累将直接决定产品的气动外形<sup>[3]</sup>。再已知骨架零件产品零件存在公差的基础上,确定了一套数字化拟合的装配方案。

具体措施如下:装设计开始的数字量的调整:首先确定骨架定位方式确定为外形卡板定位,同时K孔定位,K孔定位销设计时采用的公差是-0.1~-0.05 mm,即定位销产品K孔的最终尺寸存在-0.1~-0.05 mm的公差。

在实际装配时,预先拟合工装分析定位NC面的前提下,以工装外形卡板为依据,,现场分析产品零件公差,包括型面公差,K孔公差,然后在K孔与定位销的公差范围内进行装配调整,通过激光跟踪仪的拟合,CATIA现场数字化分析,确定最佳姿态,完成最终定位。

通过对产品数据数字化管理传递、现场的数字化拟合装配,最终产品外形测量报告,气动外形与理论外形的最大偏差仅为0.768 mm,最小为1 μm,完全符合气动外形对该区域的±3 mm的尺寸要求,明显优于现有的传统金属结构后段组件的气动外形。

#### 4 结论

在工程数据在数字化传递开始与过程中,通过可

预见性的模型计算,气动外缘公差尺寸链的分析,制定零件公差状态,调整工装设计补偿量,进行数字化工程数据控制;装配过程中采用多种数字化手段如激光跟踪仪的使用,CATIA的现场数字拟合产品零件最优装配等手段,进行装配时的工艺补偿,有效控制了此类组件的气动外形,使气动外形达到设计规范要求的十分之一,气动外形控制优于传统金属零件工艺的后段产品。新一代某机型大飞机是无图纸设计、数字化定义全新设计全新制造最先进的民用飞机,部段后段是飞机上复材零件比例最高的部段,针对复材组件整体共固化成型的新设计理念,凭借在产品制造中的单一的装配环节的控制,已不能满足完成产品最终交付的合格状态,装配工艺员能够积极参与产品数字化传递的各个步骤,制定相关的数字量传递控制方法,优化消除产品生产过程中的公差积累,充分运用数字化设备对产品状态实时监控,才能最终交付优质产品。

#### 参考文献

- [1] 顾崇衔,等. 机器制造工艺学(修订本)[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1987
- [2] 飞机装配夹具设计[M]. 航空工艺装备设计手册,北京:国防工业出版社,1979:57
- [3] 飞机工艺装备[M]. 航空制造工程手册,北京:航空工业出版社,1994:89

(编辑 吴坚)