

DOI:10.19344/j. cnki. issn1671-5276.2024.02.038

基于 VSA 的壁板容差分配与预装配验证研究

李琳, 郑丞, 肖睿恒, 邱磊

(上海飞机制造有限公司, 上海 200436)

摘要:应用 VSA 对某机型机身壁板试验件进行装配容差和预装配研究。基于工程要求和装配协调方案进行容差分配, 给出满足控制目标的最优关键特征尺寸容差; 基于实测数据建立预装配模型预测装配质量; 测量壁板的装配质量并与预装配模型进行对比分析, 发现了二者的一致性, 说明基于实测数据的 VSA 预装配模型可以用于预测装配结果, 具有一定的工程应用价值。

关键词:VSA; 容差分配; 预装配; 验证

中图分类号:TP391.9 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2024)02-0179-03

Tolerance Analysis and Preassembly Verification of Fuselage Panel Based on VSA

LI Lin, ZHENG Cheng, XIAO Ruiheng, QIU Lei

(Shanghai Aircraft Manufacturing Co., Ltd., Shanghai 200436, China)

Abstract:VSA is used to study the tolerance and preassembly of a certain type of fuselage panel. According to engineering requirements and assembly coordination program, the tolerance of all the optimal key characteristics satisfying control objectives is given. The precision model based on measured data is established to perform the preassembly precision analysis. The assembly quality is measured and compared with the preassembly model, and the results prove to be consistent with one another, which shows that VSA model based on manufacture data can be used to predict the assembly result and has certain engineering application value.

Keywords:VSA; tolerance analysis; preassembly; verification

0 引言

在飞机研制过程中, 需要根据设计给定的工程要求, 对零部件及工装的尺寸公差进行层层分解, 确定零件层级的制造基准和公差, 这个过程通常被称为容差分配。

VSA 软件是西门子公司 PLM 软件 Teamcenter Visualization 中的一个公差分析模块, 可用于对产品零部件进行装配仿真, 以尺寸链传递为基础, 从零件制造、零部件装配及产品检测方面对影响产品质量的关键特性进行分析研究^[1]。VSA 公差分析软件的仿真计算核心采用蒙特卡罗法^[2]。这是一种以概率统计理论为指导的数值方法, 其原理是采用一个随机数发生器来模拟各组成环公差的变化, 求解出封闭环公差的一系列随机变量, 并对这些封闭环的公差随机变量进行分析以得到相应的计算结果。

当前, VSA 在飞机装配领域主要用于仿真建模实现容差分配与工艺优化。葛磊^[3]使用 ViaVSA 容差分析软件, 以副翼模型为基础, 结合

尺寸链, 对 VSA 建模不同方法进行对比, 确定了最优建模方法。韦余凤等^[4]通过三维装配容差仿真计算分析了主起落架舱门与主起落舱整流罩间隙的超差问题, 找到了对主起落架舱门与主起落舱整流罩间隙影响贡献度较大的关键影响因素并提出了相应的优化方案。

对于大型飞机机身部件, 由于零件尺寸大、刚度低、人员技术水平存在差异及制造偏差等原因, 实际制造数据不一定与容差分配结果一致, 现场实际装配过程中易出现装配精度超差的质量问题。因此, 自上而下工程的容差分配结果是否与制造能力相符, 需要采用预装配技术进行分析和验证。

预装配是指通过提取零件的实际数据, 在实测数据的基础上进行装配仿真的方法, 能够解决传统数字化装配中无法预测实际装配干涉情况、无法进行装配质量预评估等问题^[5]。张敏等^[6]以某型飞机中机身壁板装配为例, 率先基于 VSA 将实测数据作为装配精度预测模型的输入偏差进行预装配精度分析并根据分析结果及时调整定位方

第一作者简介: 李琳(1986—), 女, 湖北孝感人, 工程师, 硕士, 研究方向为尺寸工程与数字化测量技术, lilin3@comac.cc。

案,实现了中机身壁板的质量控制,但并没有对装配后的质量情况进行测量验证。因此本文以某机型机身壁板试验件装配为例,提出基于VSA关键特征的容差分配与非点云数据的预装配验证技术。

本文以某机型机身壁板试验件为例,首先基

于控制目标精度要求和装配协调方案,建立装配容差仿真计算模型,给出满足控制目标的最优关键特征尺寸容差分配方案,然后基于关键特征的非点云实测数据,在VSA中建立预装配模型,最后测量装配质量并与模型计算结果进行对比分析。实验技术方案如图1所示。

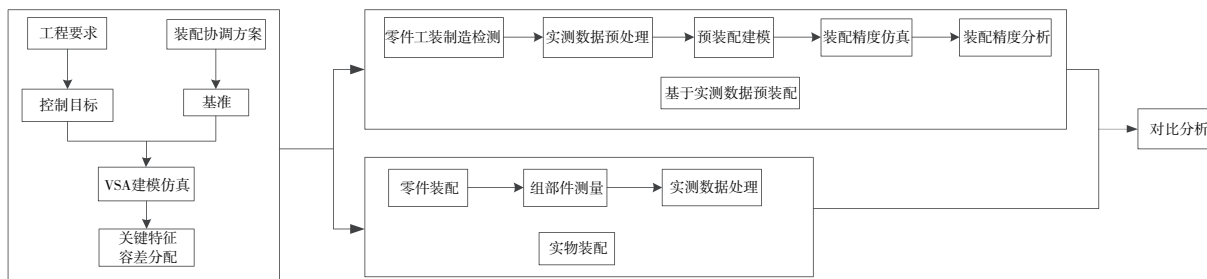


图1 实验技术方案

1 容差分配

1.1 工程/工艺要求

机身壁板试验件组件由壁板、剪切角片、框等零件构成,其主要控制目标是壁板外形,外形的公差要求是 ± 0.7 mm。

1.2 容差分配

在VSA中建立容差分配模型,采用蒙特卡洛法,设置仿真次数5 000次,随机均匀取31个点,测量下壁板外形,计算结果如图2所示。

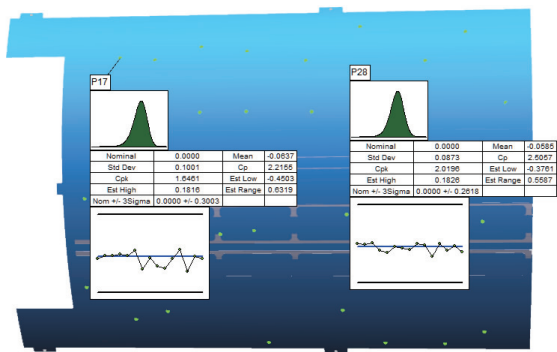


图2 外形计算结果示例

满足控制目标的最优壁板零件尺寸公差为:外表面轮廓度0.5 mm,内型面轮廓度0.7 mm,定位孔位置度0.3 mm。

2 预装配分析

2.1 预装配模型原理

装配工艺包括装配容差要求、零组件装配顺

序、零组件定位方案等内容,其中装配容差要求是装配精度控制的目标,零组件装配顺序和定位方案决定了装配偏差传递和累积的方向。根据装配工艺,提取相关信息,构建矢量环,建立装配精度预测模型。装配容差与零组件、工装偏差的关系函数为

$$u = f(v_1, v_2, \dots, v_n) \quad (1)$$

式中: u 为装配容差; v_n 为零组件或者工装偏差; f 为装配容差与零组件、工装偏差之间的关系函数。具体矩阵表达式为^[7]

$$\Delta U = -B^{-1}A\Delta V \quad (2)$$

式中: ΔU 为装配容差矢量矩阵; B 是矢量环标量函数对装配容差变化的偏导数矩阵; A 为矢量环标量函数对零组件或者工装偏差变化的偏导数矩阵; ΔV 为零组件或者工装偏差矢量矩阵。

利用预处理后的关键控制特性点的实测数据,作为装配精度预测模型中关键控制特性点的偏差,形成基于实测数据的装配工序精度模型,此时,装配容差与零组件、工装偏差的关系函数为

$$u' = f(v_1', v_2', \dots, v_n') \quad (3)$$

式中: u' 为实测数据替换后得到的装配容差; v_n' 为零组件或者工装偏差实测数据。

2.2 预装配模型建立

在实际生产测量过程中,壁板外表面采用贴膜检,轮廓度测量结果为0.3 mm,壁板厚度采用磁力测厚仪测量,厚度公差在 $\pm 5\%$ 以内,内型面没有直接测量。在预装配模型中,采用内型面与外表面关联加上厚度公差的方式,获取内型面的轮廓度,如图3所示。

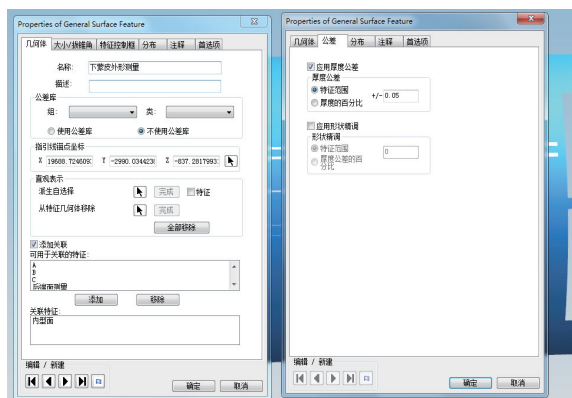


图3 内型面与外形测量点关联设置

壁板定位孔位置度测量采用激光跟踪仪,测量时,壁板外表面与工装固定,以工装上的TB点建立全机坐标系,测量定位孔的坐标值,其中1号孔的位置度为0.473 mm,2号孔的位置度0.300 mm,如图4所示。

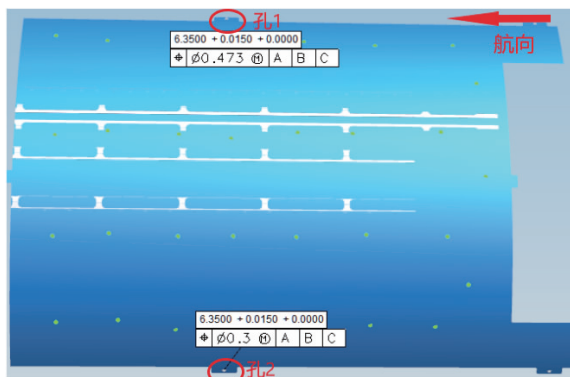


图4 壁板定位孔测量结果示意图

将关键特征的实际测量基准和测量结果导入VSA软件,仍然采用蒙特卡洛法,仿真次数5 000次,计算壁板外形。

3 测量验证

壁板组件装配完成后,将组件支撑牢固,保持装配完成时的姿态不变,松开测量部位的约束,使用激光跟踪仪在全机坐标系内测量壁板的外形,实际测量点的位置与模型中测量点位置对应。壁板外形实测值与预装配模型计算结果对比如图5所示。

从图5中可以得出如下结论:

1) 预装配模型计算出来的波动区间在 $-0.234\text{ mm} \sim 0.449\text{ mm}$ 之间,实际测量结果在 $-0.469\text{ mm} \sim 0.321\text{ mm}$ 之间,均在控制目标 $\pm 0.7\text{ mm}$ 范围内,说明控制目标与实际生产能力相符;

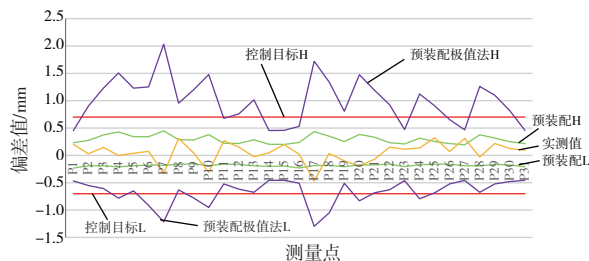


图5 预装配计算结果与实测值对比

2) 在31个测点中,实际测点有5个超出了实际模型计算出来的波动区间,分别是P7、P10、P17、P25、P27,对实际模型运行极值法仿真,这些点均在极值法计算结果范围内,实测数据与极值法的波动存在一定的相关性。

另外,从图5可以看出,在预装配模型中,预装配L的绝对值小于预装配H的绝对值,说明计算结果为正偏差的概率大。对壁板实际测量的31个点进行统计分析,如表1所示。

表1 外形实测值分布区间统计表

偏差区间/mm	实际测量结果/%	合计/%
(-0.5, -0.4)	3.22	25.80
(-0.4, -0.3)	0	
(-0.3, -0.2)	6.45	
(-0.2, -0.1)	6.45	
(-0.1, 0)	9.68	
0	3.22	71.00
(0, 0.1)	25.80	
(0.1, 0.2)	22.58	
(0.2, 0.3)	12.90	
(0.3, 0.4)	9.68	

如表1所示,71.00%的测量点为正向偏差,这是因为壁板组件以骨架外形为基准定位,装配误差“由内向外”累计所致,与计算结果一致,且83.87%的实际测量结果在预装配的计算范围内。另外,与预装配模型极值法计算结果比较,所有的测量结果均在极值法的计算范围内,说明:1)本次装配过程没有出现极限情况;2)在已知零件实测数据和装配工艺的情况下,装配结果可以预测。

4 结语

通过对机身壁板组件试验件进行VSA仿真建模,给出了满足控制目标要求的最优关键特征尺寸容差分配方案,然后基于关键特征实测数据建立预装配模型,并在装配完成后进行了测量验证和分析,得出如下结论:

(下转第202页)

在模拟生产的连续工作过程中,本系统运行良好,能够连续完成单批订单工件的生产,故可以有效用于叶片气膜孔电加工的实际产线生产中。

5 结语

本文根据航空发动机叶片气膜孔的电加工工艺要求搭建了电加工智能产线,对控制结构和控制原理进行分析,确定数据传输及存储的方式,设计了产线控制系统并对其进行了实现。该控制系统主要通过对排产计划的输出数据进行后处理,获取产线订单生产的命令列表并结合控制系统的具体执行流程完成产线的调度工作。试验验证表明,系统运行稳定,能够代替产线原有人工部分,在保证精度的前提下,实现产线的信息化及自动化,一定程度上提高了生产效率。

参考文献:

- [1] 佟浩,李勇,李宝泉. 气膜冷却孔电加工工艺与装备技术研究[J]. 航空制造技术,2021,64(18):34-45.
- [2] 董一巍,吴宗璞,李效基,等. 叶片气膜孔加工与测量技术的现状及发展趋势[J]. 航空制造技术,2018,

61(13):16-25.

- [3] 张智斌. 航空发动机叶片气膜孔自动化生产的方法[J]. 精密制造与自动化,2021(4):51-54.
- [4] 张明德,杨文科,谢乐,等. 航发叶片数字化生产线管控执行系统研究与实现[J]. 现代制造工程,2020(7):11-18.
- [5] 李文忠. 基于光栅投影的发动机叶片三维形貌测量技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学,2019.
- [6] 文清平. 基于工业机器人上下料的多工位机加工生产线设计[J]. 机床与液压,2020,48(17):49-52.
- [7] 王先月,潘松峰,刘镔震,等. 基于 RFID 的零件加工控制系统的设计[J]. 机械制造与自动化,2022,51(2):34-37.
- [8] 胡士靖,吴超群,陈翱,等. 基于西门子 PLC 的自动打磨控制系统设计[J]. 组合机床与自动化加工技术,2019(12):72-75.
- [9] 石朝阳,徐世许,史世良. 基于 OPC UA 技术的物料搬运监控系统设计[J]. 制造业自动化,2022,44(3):59-62.

收稿日期:2022-09-20

(上接第 181 页)

1) 在新型号/新工艺验证阶段,基于实测数据的仿真验证是必要的,一方面可以实现数据的闭环,另一方面也能用于验证工程要求与制造能力的符合性,提升装配效率和装配准确度,避免批生产过程中出现大量的超差;

2) 基于实测数据的预装配模型计算结果与测量数据一致,说明基于实测数据的 VSA 预装配模型可以用于预测装配结果,未来在虚拟装配领域有一定的应用前景。

参考文献:

- [1] 阮和根,陈沈融,朱红萍,等. 基于 VSA 的冷锻机关键零部件公差设计[J]. 机械设计与研究,2009,25(6):69-71.
- [2] 林祖伟. 民机机身对接尺寸公差研究[J]. 机械制造,

2019,57(9):55-57,64.

- [3] 葛磊. 基于 VSA 的容差建模分析[J]. 科技视界,2018(25):21-22,11.
- [4] 韦余凤,郑丞. 基于 VSA 的主起落架舱门与主起轮舱整流罩容差分析[J]. 中国科技信息,2019(19):27-29.
- [5] 罗振伟,梅中义. 基于测量数据的飞机数字化预装配技术[J]. 航空制造技术,2013,53(20):99-102,108.
- [6] 张敏,田锡天,耿俊浩,等. 基于预装配精度分析的飞机关键装配工序质量控制技术[J]. 航空制造技术,2019,62(5):51-56.
- [7] 唐健钧,田锡天,耿俊浩,等. 基于多维矢量环的装配偏差源敏感度分析[J]. 机械工程学报,2015,51(17):156-161.

收稿日期:2022-02-18