

数字化技术在波音 737 飞机尾段制造中的应用

Application of Digital Technology in Manufacture of the Tail Section of Boeing 737 Aircraft

沈阳飞机工业(集团)有限公司 杨雷

[摘要] 论述了沈阳飞机工业(集团)有限公司(简称沈飞)在新一代波音 737 飞机尾段上数字化技术的研究与应用,以及实施数字化技术的理念和成果。着重论述了数字传递过程、工艺、工装设计制造方面的应用。

关键词: 数字化技术 波音 737 尾段 单一产品数据源

[ABSTRACT] Research, application, concept and achievements of the digital technology of the tail section of the new generation of Boeing 737 aircraft in Shenyang Aircraft Industry(Group) Co., Ltd. are expounded. The application of digital transfer process, technology and design/manufacture of tooling are emphatically introduced.

Keywords: Digital technology Tail section of Boeing 737 Single source of product data (SSPD)

我国传统航空制造业主要采用模线样板/标准样件工作法作为协调依据的主体,这种传统的协调方法以模拟量传递,即产品和工装的制造及检验依据用模线样板/标准样件传递,各部门的数据各自手工管理。

随着飞机制造技术的发展,计算机辅助设计、制造与检验(CAD/CAM/CAI)、产品数据管理(PDM)等数字化技术大量应用于飞机制造中。数字化技术的协调依据以数字量方式“零误差”传递。数字化产品数据管理是把制造产品所需的物料管理、工艺计划、构型控制、质量管理、制造计划、进度计划等数据在计算机中统一进行全过程数据管理。美国波音公司在新一代波音 737 尾段上全面应用了数字化产品定义技术。1997年,全面推行飞机构型定义与控制/制造资源管理(Define and Control Airplane Configuration/Manufacturing Resource Management, DCAC/MRM)信息管理系统,采用了数字化产品数据管理技术。

沈飞转包生产的新一代波音 737 尾段项目中,波音公司采用了数字化技术,在计算机中进行飞机设计、工装设计、数字化预装配等工作,全部图纸均通过数据集的形式发放;同时推行 DCAC/MRM 信息管理系统,通过 PDM 管理和发放产品数据。沈飞要完成 737 尾

段项目,必须研究和应用数字化技术。

1 波音飞机产品的数字化定义

波音飞机产品的数字化定义内容不仅包括形状、位置和结构的产品定义,同时包括生产产品所需的材料、装配关系等数据的定义。如数据集定义产品的形状、位置和结构;零件表定义产品所需的材料、装配关系等。两者构成数字化定义的主要框架。

1.1 波音飞机的数字化产品设计

数字化产品定义的内容包括:设计人员在计算机中设计理论外形、结构和系统,在计算机中建立飞机三维空间理论数据,建立起全机零件、组件的三维实体模型,用以描述产品的形状、结构和位置。产品和工装可以在计算机上进行数字化预装配并模拟产品运动轨迹等,以便提前发现设计问题,及时了解设计的完整性、可靠性、可维修性、可生产性和可操作性。同时,数字化设计文件可以被后续部门共享,从而在制造前获得反馈,减少设计更改;在制造阶段降低成本,提高生产率,缩短制造周期,减少返工。波音的数字化产品结构定义是在法国达索公司开发的 CATIA 系统数据集中实现的,实体模型是使用数字化定义的核心和依据。

1.2 波音飞机的数字化产品数据管理

数字化产品数据管理即工程数据管理、工艺数据管理和制造资源管理,是在以单一产品数据源(Single Source of Product Data, SSPD)为基础的产品数据管理的支持环境中运行的。SSPD 是提供单一产品数据的存取点,能提供多种正确而清晰的数据。波音公司通过 DCAC/MRM 系统单一产品数据源,简化构型、业务流分类和材料流管理,实现数字化产品数据管理。

1.3 波音飞机工装的数字化设计

波音公司在工装设计中全面应用数字化技术,即在计算机中进行工装设计、制造和检验。工装设计人员根据工艺部门的技术要求,在计算机中调用工程数据集中的实体和曲面进行工装设计,保证了工装定位基准与产品零件的一致性,设计后在计算机中进行预装配检查,检查工装与产品之间是否干涉和有间隙等问题。缩短了工装设计、制造的周期,减少了工装设计、制造中的错误。

2 沈飞传统产品定义的特点

2.1 产品设计

传统设计的特点是手工绘制尺寸图、模线图、系统图、工装图等图纸,依靠模拟量传递数据,干涉、不协调等设计错误多,研制周期长,质量差,成本高,返工多。

2.2 产品数据的传递

传统飞机制造采用模线样板/标准样件工作法。这种方法以模拟量传递,按相互关联制造原则进行协调,即产品和工装及检验工艺装备从设计开始,到制造、装配和检验,包括产品和工装之间的协调检验依据全部采用模线样板传递数据,其典型的协调路线如图1所示。

这种传统的协调路线缺点是:

- 传递环节多,制造误差大,积累误差大;
- 协调精度和互换性差;
- 形状与位置靠模拟量传递;
- 工程、工艺、工装、生产准备等各部门串行工作,需要较长的生产准备周期。

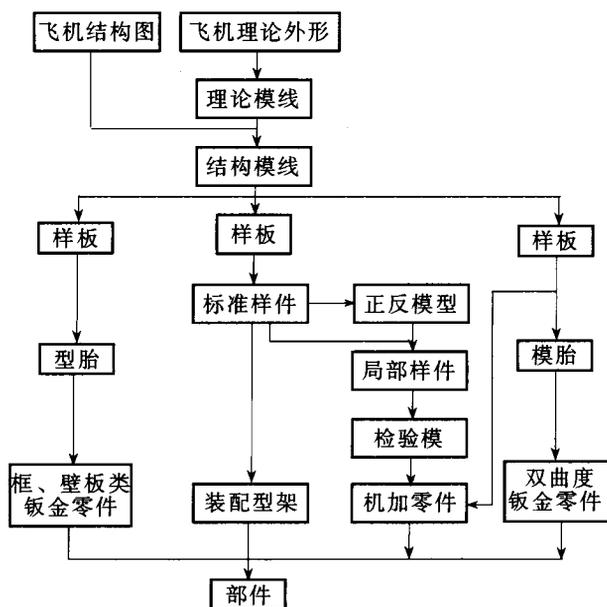


图1 模线样板/标准样件工作法典型协调路线

Fig.1 Typical coordinate route of loft template/standard master working method

2.3 传统的工装管理方法

(1) 工装设计。

工装设计时根据模线图手工绘制工装图纸,造成产品和工装设计之间存在误差,因此,设计阶段就存在不协调问题。

(2) 工装制造。

依靠产品和样板制造工装,工装设计、制造之间易出现误差。这样在装配阶段产品、工装之间的不协调问题多。传统的协调路线,一般为模线→样板→样件→正反面规→工装,显然传递环节多,制造精度差,由于需串行作业,制造周期也长。

2.4 沈飞传统的產品数据管理状况

沈飞过去用细目表控制装机零件,零件多年不变号,用图纸版次更改控制零件,这种管理方式适用于机型、设计不变化的管理。但波音用零件号控制构型,频繁更改零件号,这样跟零件号相关的图纸、细目表、分工指令、材料定额、工装品种表等数据需相应频繁更改,传统的管理方式不能满足生产和管理的要求。

3 沈飞在波音 737 产品上应用数字化产品定义

3.1 新一代波音 737 尾段结构简述

737 尾段在飞机机身结构上处于尾部的 1016 站位到 1156 站位。由上舱面组件、下舱面组件,上壁板组件、下壁板组件,1016 框、1088 框、1156 框,APU 门,得克萨斯星组件、螺旋千斤顶组件等组成,见图 2。1016 框通过 225 个螺栓与机身 47 段相连。尾段总长 3 556 mm,最大直径 2 970 mm。通过在 1016 框、1088 框上的垂直安定面固定接头与垂尾相连,通过得克萨斯星组件与平尾相连。

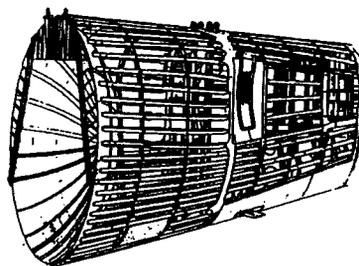


图2 波音 737 尾段结构

Fig.2 Structure of Boeing 737 tail section

3.2 沈飞数字化产品定义的应用

沈飞数字化产品定义广泛应用于飞机产品的工程设计、零件制造、装配和检验以及工装设计、工装零件制造、装配和检验中,从而保证产品定义在设计、制造、装配、检验上的一致性和并行性。零件、组件、工装设计和制造是从相同的工程数据衍生出来的,并使用相同的工程数据检测产品是否合格。

3.3 数字化产品定义的数据传递方式

波音 737 尾段数字产品定义协调路线见图 3。

从图 1、3 看出,数字传递与传统的协调路线相比,工作方法和协调过程都有重大的变化。产品的形状、

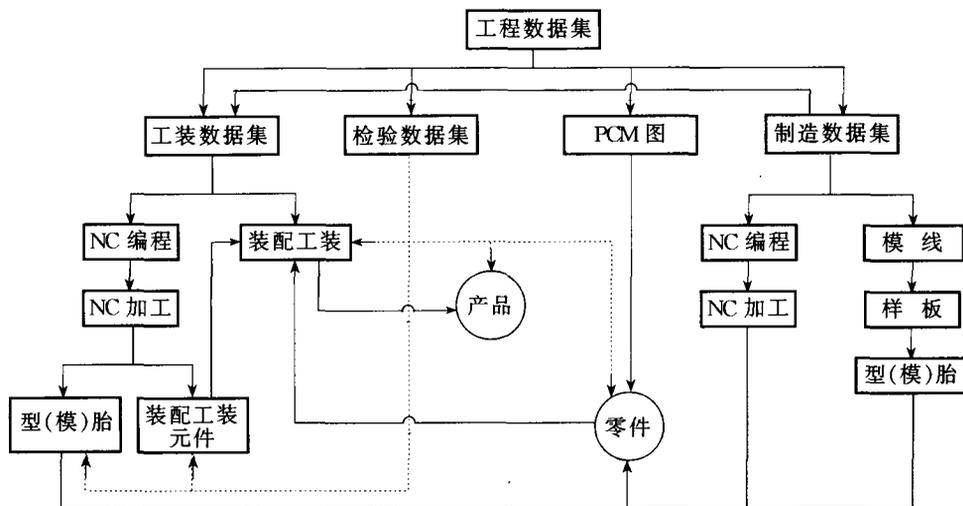


图3 波音737尾段数字产品定义协调路线

Fig.3 Coordinate route of digital product definition of Boeing 737 tail section

结构和位置尺寸都由在计算机中建立的数学模型表达,并以数字形式实现“零”误差传递,制造数据集和检验数据集两条独立的传递渠道汇总到产品生产线形成闭环控制。可按独立制造原则组织生产准备工作,减少了生产准备工作量,缩短了生产准备周期,提高了工艺装备的制造精度和协调准确度。与传统的模线样板/标准样件协调方法相比,数字化产品定义的优点是:

- 缩短了产品设计周期,减少了设计差错,实现了“无纸”设计。
- 制造协调环节少,从零件到装配实现数据零误差传递,减少制造协调环节系统误差,提高产品制造精度。
- 采用数字化协调方法,取消了模拟量的传递,无需制造大量的工艺装备和全机样件等实物。
- 工艺、工装、生产准备等各部门工作与工程设计可以同步进行,缩短了生产准备周期。
- 工程数据集成为制造、协调和检验的唯一依据,所有数据的生成、处理、传递均源于工程数据集。
- 通过数字化产品定义,可降低设计和制造成本,提高生产率,缩短制造周期,减少返工。

3.4 数字化预装配在产品上的应用

(1) 部件检查。对飞机部件的数字化预装配干涉检查,能够确定部件之间对接或搭接的空间位置,根据需要可以绘制临时装配图或剖面图。

(2) 互换性检查。对零件、工装和标准样件进行互换性检查。

(3) 局部检查。利用数字化预装配对零件之间进行干涉检查、间隙检查、验证配合、设计协调等。此项

应用使过程更改减少,提高了设计质量,降低了设计成本,缩短了制造周期。

(4) 模拟运动轨迹。模拟零件的安装轨迹和系统机构的运动轨迹,以便提前发现系统不协调问题,同时可以发现不可安装和拆卸、维护的问题。

3.5 数字化技术在工艺中的应用

3.5.1 工艺设计

(1) 制造数据集的生成。按照工艺制造要求,在工程数据集基础上,生成制造数据集,比如增加工艺耳片、定位孔、蒙皮拉伸余量等。

(2) 并行工艺。在工程设计达到30%时,工艺就参与工艺性审查和工艺准备工作。提前做工艺总方案、装配方案和制造方案,提出工装设计要求,进行工艺分工、工具准备等工作。由于采用数字化技术,缩短了工艺准备时间,也减少了纸面文件的工作量。

(3) 工艺准备工作。在计算机中直观地查看工程设计的实体和结构,提出装配专用工具技术条件和直观地检查装配方案的可行性。缩短工艺生产准备周期,减少工艺准备错误,提高工艺准备工作质量。

(4) 数控编程人员可以在计算机中模拟刀具运动轨迹,检查程序的正确性。

3.5.2 面向制造的工装设计

由于采用数字化技术,零件外形和孔的位置公差得到保证,在装配工装定位方式上大量减少使用卡板定位方式,代之以协调导孔和定位孔方式,简化了工装结构和装配过程。

3.6 数字化技术在产品检验中的应用

(1) 数字化质量设计。

在工程设计阶段,并行展开质量大纲和质量方案编制、确定质量检测方法等工作。针对数字化检测设备,在产品上选择检测点和控制部位,将质量要求纳入到设计方案中,生成检验数据集。

(2) 检验技术。

采用数字化测量设备,对数控加工的产品进行测量,保证产品的质量。对有基准的产品,测量基准点选择一般与图纸基准点一致,测量坐标系就是产品的飞

机坐标系,分析采集的数据,判定产品是否合格;无测量基准的产品,在零件上选取点,建立基准坐标系,在计算机中采用最佳拟合,检查零件是否合格。

3.7 数字化技术在工装设计及制造中的应用

3.7.1 在工装设计中的应用

沈飞公司在新一代波音 737 尾段零件工装、装配工装设计中应用数字化技术进行三维模型设计,用数字量的形式进行工装设计、制造、检验,节省了大量工艺装备和检验工装,减少了大量形状和尺寸传递的中间环节。数字化技术大幅度缩短了工装设计周期,简化了工装设计、制造和检验过程,解决了由于设计、制造、误差积累等因素造成的工装返修问题,提高了工装设计及制造水平,缩短了工装设计及制造周期。

3.7.2 数字化预装配在工装上的应用

在 CATIA 系统中利用三维实体进行工装自身、工装与产品之间的数字预装配和干涉检查,模拟工装装配过程,可以使设计变得更合理、更协调,避免了图纸发放后因零件干涉所引起的更改。

3.7.3 在工装制造中的应用

除仍采用少量标准工装协调外,其余工装全部采用数字量传递协调方法进行协调,即:在 CATIA 中使用工装三维模型进行数控加工程序的编制,对与飞机外形有关的零件工装及装配工装的零件上的型面进行数控加工;从工装三维模型上提取测量的理论数据,与使用测量机对数控加工的零件工装及装配工装的零件测量后的实际测量数据比较和验收;使用激光跟踪仪对装配工装进行安装和功能性检查及定期检查;利用 CATIA 对激光跟踪仪采集的数据进行分析及处理。

从图 1、3 可以看出,波音 737 尾段协调互换原则与模线样板/标准样件协调原则有本质区别,主要表现在以下几个方面。

- 协调互换依据:737 尾段项目采用数字量协调,局部交点互换采用标准样件协调,这与传统样件定义、制造、使用存在本质区别。

- 协调环节:传统的协调路线一般为模线→样板→样件→正反量规→工装,而波音工装改为工程数据→工装数据→工装,减少积累误差。

- 研制周期:波音 737 尾段工装的设计、制造、安装的全过程完全采用数据传递,同时,设计与制造可以并行作业,缩短了研制周期。

3.7.4 装配工装的装配

(1)测量系统的应用。波音 737 尾段工装零件安装基准采用飞机坐标系下给定的 X、Y、Z 坐标值,用激光跟踪仪系统进行装配和验收。

(2)装配工装的数字化装配。采用激光跟踪仪系

统测量安装,首先建立工装的坐标系,利用装配工装零件上的工具球孔坐标值把零件引入坐标系中,根据工装图纸上相应的工具球孔坐标值,测量和调整安装各个零件和组件。

4 结束语

沈飞 737 尾段项目采用单一产品数据源(SSPD)实现产品数据管理。沈飞接收波音的工程数据以后衍生出沈飞的数据管理、制造管理、计划管理。沈飞 737 尾段项目的 SSPD 由工程管理、工艺管理、工装管理、项目管理、档案数据管理等功能模块构成产品数据管理(PDM)。通过 SSPD 可以生成满足工程设计要求的 E-BOM,控制生产的工艺计划 P-BOM,生产制造的 M-BOM,控制生产计划的进度计划等。

沈飞通过实施数字化产品设计、协调、制造技术,缩短了研制周期;实施 SSPD 使各部门数据唯一,无冗余,减少成本及流程时间,同时也确保全部数据的及时性、一致性、可追踪性。通过数字化技术的应用,按时交付了合格的产品。

(责编 根山)

(上接第 85 页)

弯管机能够识别的 FIF 文件中,对导管外形采用空间相对坐标进行定义,精度为 0.001 mm,因此,必须保证空间坐标转换的正确性,才能使两者的转换误差不会超过 0.001 mm。

(2)焊接导管组合夹具的检测。

焊接导管组合夹具设计/制造实现 CAD/CAM 后,采用何种手段进行检验以及如何检验需要进行深入的研究,以期找到一种效率较高且经济性较好的检测方法,确定组合夹具与理论三维空间模型的准确性。

(3)焊接导管数控测量。

由于焊接导管数量极大,需寻求一种较经济、高效率的数控测量方式,对每一项焊接导管实现数控测量反求建模,使生产的导管与理论的导管三维空间模型达到一致。

参 考 文 献

- 1 林政忠. CAD/CAE/CAM 整合应用. 北京:科学出版社,2001
- 2 王知行. 机械 CAD 与仿真技术. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2000
- 3 蔡青. CAD/CAM 系统的可视化、集成化、智能化、网络化. 西安:西北工业大学出版社,1996 (责编 瀚海)