

基于 MBD 的飞机数字化 装配技术

Digital Aircraft Assembly Technology Based on MBD

北京航空航天大学机械工程及自动化学院 梅中义



梅中义

北京航空航天大学机械工程及自动化学院副教授,博士,主要从事飞机数字化装配、数字化设计与制造、知识工程等方面的研究与开发工作。

基于模型的数字化定义(Model Based Definition,MBD)技术是产品数字化定义的先进方法,是指产品定义的各类信息按照模型的方式组织,其核心内容是产品的几何模型,所有相关的工艺描述信息、属性信息、管理

MBD 是飞机设计制造数字化技术发展的新阶段和总趋势,采用 MBD 技术体系将为航空制造带来管理上和效率上的飞跃。在 MBD 的技术体系中,MBD 数据集内容包含设计、工艺、制造、检验等各部门的信息。在数据管理系统和研制管理体系的控制下,各职能人员可以在 1 个产品模型上协同工作,提高了设计效率,同时也提高了产品的可制造性。

信息(包括零件表)等都附着在产品的三维模型中,一般情况下不再有工程二维图纸。MBD 是一个用集成的三维实体模型来完整表达产品定义信息的方法,详细规定了三维实体模型中产品尺寸、公差标注规则和工艺信息的表达方法。

MBD 将产品信息中的几何形状信息与尺寸、公差、工艺信息通过一个完整的三维实体模型来表达,如图 1 所示,改变了传统由三维实体模型来描述几何形状信息,而用二维工程图纸来定义尺寸、公差和工艺信息

的分步产品数字化定义方法。同时,MBD 使三维实体模型作为生产制造过程中的唯一依据,改变了传统的以工程图纸为主要制造依据,而三维实体模型仅为辅助参考依据的制造方法。

波音公司在 2004 年启动的波音 787 项目中,从设计开始,波音公司作为上游企业,全面在合作伙伴中推行使用 MBD 技术,即在 3D 模型中包含产品形状以及全部制造特征在内的信息,并在管理中完全以 3D 模型为设计制造的唯一依据。在波音

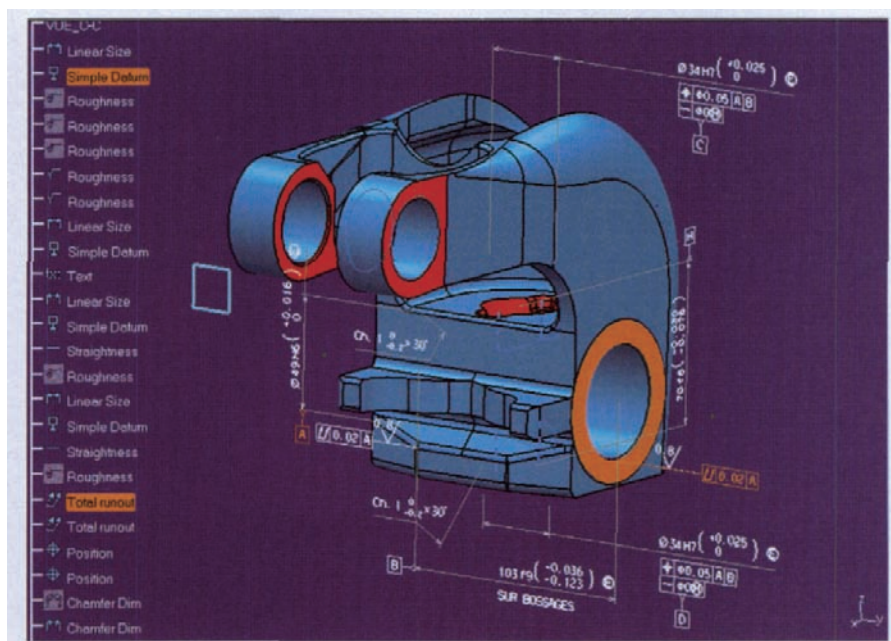


图1 MBD的产品模型

787项目的带动下,波音公司及其主要承包商实现了向MBD制造技术体系的过渡。我国的大飞机设计和制造现在也正逐步实施和应用MBD技术,该项技术对现有的飞机装配技术必然会带来实质性的变革。本课题主要论述以MBD技术为基础的飞机数字化装配技术所涉及的内容。

MBD的装配数据集

装配数据集指在飞机工艺设计过程中,在某一装配工位上完成组件、部件安装工作所需的工装模型、产品模型或产品工艺模型、工序信息、装配顺序等信息的集合,是工艺设计的结果,也是进行公差分配仿真、装配过程仿真的唯一依据。MBD技术是一个用集成的三维实体模型来完整表达产品信息的定义方法。在飞机数字化装配技术体系中,装配数据集是工艺员使用MBD技术设计而生成的,是进行装配安装和检验的基础。MBD装配工艺模型包括装配工艺信息、安装列表和工装资源在三维实体模型中的描述。

MBD装配模型由一系列MBD零件模型组成的装配零件列表和以

文字表达的注释和属性数据组成,如图2所示。由于装配件不同于数字样机,MBD装配模型除了包含构成装配件的数字样机外还包含其他辅助信息,如大量的参考面、标准件、辅助平面、直线、空间定位点等几何信息。装配件的数据集根据模型内容的多少可以分为单模型数据集和多模型数据集。如果尺寸允许,可以使用单模型数据集,即在1个模型中可放置所有的几何模型。如果尺寸过大,则采用多模型的方法,此时,在每

个分割的数据集内必须有1个公共参考系。

此外,装配模型是在局部坐标系中定义的,在定义装配件模型时要尽可能简化,每个装配件内包含零件与零件的关系、位置、标识以及装配零件数量;而安装模型是在全机坐标系中定义的,所以在每个安装模型内应包含它在全机坐标系中的位置、标识及构成装配/安装件的零件数量等信息。所有支持数字化预装配(DPA, Digital Pre-Assembly)的模型都需要定义实体模型,以支持下游用户的工作。但在定义装配/安装件过程中,并不是所有构成装配/安装件的零件都是现成的,对于那些如填料、垫片、隔离物和密封件等标准零件在装配/安装件的三维模型中进行定义时,需要用“+”表示紧固件以及其位置,而不需要定义紧固件详细的细节。

基于MBD的数字化协调技术

MBD数字化协调技术是飞机数字化装配技术的主要部分,以飞机的主几何(统一基准系统和实体几何)为基础,由计算机提供飞机产品之间、工装之间、飞机产品与工装之间的协调关系,并将这些三维数字模型

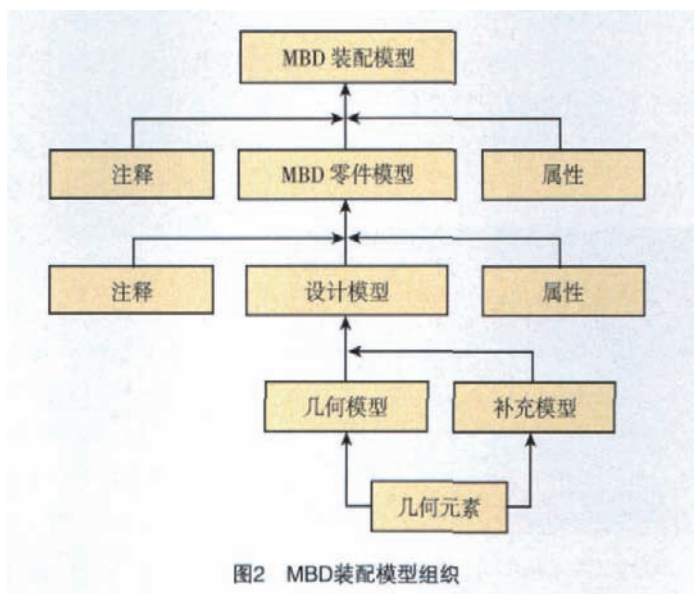


图2 MBD装配模型组织

和坐标基准系统作为设计、制造、检验所有零件、加工工装、装配工装和检验工装的数字量标准,用数控技术直接进行形状与尺寸的数字量传递,形成物化的数据-产品,并通过先进的电子测量技术,又可把产品转化为数字量的数据信息,形成一个封闭的数据环,实现工装的安装以及产品部件的安装和检测。

MBD 的数字化协调技术贯穿于整个飞机产品制造过程中。根据经历阶段不同,可将协调过程分为设计协调、加工协调及装配协调 3 阶段。

(1) 设计协调阶段。

设计协调阶段主要通过三维建模环境把协调基准及几何形状与尺寸以数字量方式进行传递,并通过在具有协调关系的产品或工装三维模型中建立统一的基准及合理的公差分配,达到各要素间的准确协调。在数字化协调过程中,所有装配工艺装备的安装均采用数字化光学测量系统来实现,因此,装配工艺装备的结构设计应与这种数字化测量安装方法相适应,在装配工艺、装备结构上增加光学测量安装用的光学测量工具球点 OTP (Optical Tooling Points) 结构特征,如图 3 所示。

(2) 加工协调阶段。

加工协调阶段主要是指将设计协调阶段生成的各类零件三维模型进行工艺设计及后置处理后,生成数字量的 NC 加工指令,驱动数控设备把毛坯加工成设计模型中的产品零件、零件加工工装或装配工装零件

(尤其关注协调孔的加工)。对于具有关键特性的零件,需要制定严格的质量控制计划,以达到预防零件结构之间不协调情况的发生。

(3) 装配协调阶段。

装配协调阶段分成 2 个不同步骤,首先是把加工协调阶段完成的装配工装零件通过数字化测量安装系统装配成装配工装三维模型中所规定的结构与形状的装配型架,然后在装配型架上把飞机零件装配成为飞机产品。

MBD 的数字化测量装配技术

MBD 技术的应用使得数字化测量装配检测技术得以广泛应用,就是运用先进的检测设备(如激光跟踪仪、电子经纬仪、数字照相测量设备以及室内 GPS 等数字测量系统)对工装或装配件的形状和尺寸进行实时监测,并采取相应措施把工装形状与尺寸控制在设计要求范围内或对装配件进行直接装配的一种先进装配技术。在进行数字化测量装配过程中,激光跟踪仪等数字测量系统采集工装或者产品的形状与尺寸信息,并通过测量数据分析系统对测量数据与 MBD 数模中的理论数据进行分析比对。如果测量数据不符合理论数据的尺寸公差要求,则通过手动或自动方式调整装配对象空间位置,直到测量数据在理论数据的尺寸公差范围内。

MBD 的数字化测量装配技术减少了传统模拟量传递过程中间协调环节的误差积累,提高了协调的准确度,使工作效率和安装质量得到了大幅度的提高。在以后的改型过程中将大大缩短设计与生产周期,只要将工程数据集做相应更改即可。在工装定检中,只需使用计算机辅助测量设

备检测工装上的控制点,可以免去来回搬运、定位沉重的实物样件。

利用 MBD 技术进行工装的设计时,工装零件的设计、加工均采用数字化方法,工装基准元件的安装基准——光学测量安装工具球均采用飞机坐标系下 x 、 y 、 z 坐标值给定,其装配需要高精度的测量手段才能保证产品质量,数控测量机、便携式测量机等都不能适合于工装现场装配的特点。因此一般都采用激光跟踪仪进行现场的装配检测。

利用 MBD 技术和数控技术制造的装配工装实现了 100% 的数字产品定义,是以提高装配工装零、部件的制造准确度来保证装配工装的协调性。通过电子测量系统的基础(BASE)坐标系测得基础工具球坐标值后,可以通过轴对准(Axis Alignment)或最小平方转换法(Least Square)来建立基础(BASE)坐标系与产品坐标系的联系。所有工具球值都可以从 MBD 的产品数据中获得。

安装时,通过激光跟踪仪测出光学工具点的实际坐标值。由于实际坐标值与理论坐标值存在误差,需要适当调整定位器的位置,使测量的实际坐标值逐渐接近理论坐标值,当实际坐标值达到设计给定的理论坐标值的公差范围内时,即确定了定位器在工装中的空间正确位置。制造完成后,在工装的适当位置打出工具球的实测值。

基于数字化协调的阵列式装配技术

基于数字化协调的阵列式装配(Determinate Assembly, DA)用来描述实际的设计零部件在预先定义的界面上能精确地装配在一起,而不需要实物标准样件或其他复杂的测量和调整技术,其实质上是数字化协调方法的具体体现。

由于采用 MBD 数字化定义技术

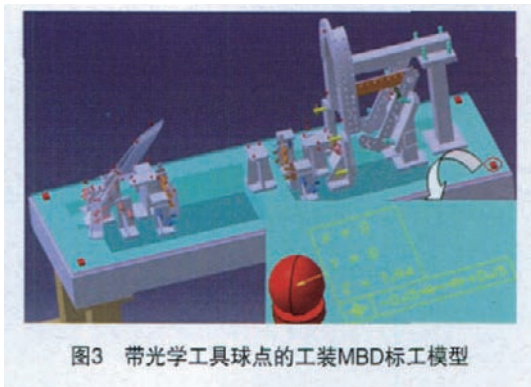


图3 带光学工具球点的工装MBD标工模型

和精确 CNC 加工技术,所以当前国内外正在使用一种新的装配工艺及其工装设计和制造方法——基于数字化协调的阵列式装配方法。

波音公司在大型飞机波音 747 的制造中,就将先进的阵列式装配方法用于机身的装配中。其原理是飞机机身和机身壁板的定位点都在飞机坐标系中进行数字化定义,在壁板的装配型架上有用数字化方法安装的定位器;在机身装配工装上的壁板定位器(见图 4)用激光跟踪仪在飞机坐标系中确定它们的位置,这样保证了多块机身壁板在机身坐标系里是相互协调的,使壁板能装配到机身的准确位置上。

在基于模型定义的数字化协调的基础上,在设计、加工和装配 3 阶段统筹考虑产品(零部件、工装等)的定位特征,对最为重要的协调孔的孔径精度和位置度进行严格要求。



图4 波音747客机阵列式装配中的定位器

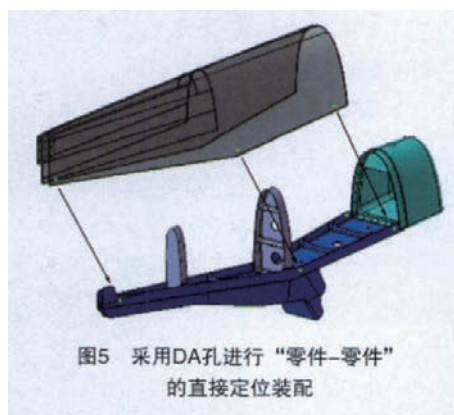


图5 采用DA孔进行“零件-零件”的直接定位装配

这些孔对零件在装配时定位的准确性以及整个部件的 DA 精确装配起着至关重要作用。以这些定位特征为基础,在部件的装配过程中采用 DA 精确装配技术,整个部件的装配协调选用数字协调孔(DA 孔)实现“零件-零件”的直接定位装配,如图 5 所示。

MBD 数据在飞机装配现场的应用

在 MBD 制造模式下,通过三维数字化产品与工装协调建模及三维装配工艺仿真设计,在形成飞机装配工艺流程信息的同时,制作相应的飞机三维结构生产图解与多媒体装配过程动画,用于在装配工位现场指导装配。这些多媒体工艺数据及其三

维数字化产品、工装数据完全替代了二维工程图纸和纸质工艺指令,成为对工人进行技术培训的多媒体资料,以及在生产现场指导工人工作的技术依据。因此,需要建立面向飞机三维产品数据的装配现场可视化应用系统,以工艺活动为中心,将三维产品

工程数据、三维工装资源数据、操作过程工艺图解和操作动画组织起来;通过在装配车间的各装配工位铺设网络,架设生产现场数字化应用终端设备,将三维数据传递到装配操作现场,运用多媒体的装配工艺信息、三维产品数据和三维工装数据,在数字化环境中指导工人进行飞机的装配工作。MBD 数据在飞机数字化装配现场的应用模式如图 6 所示。

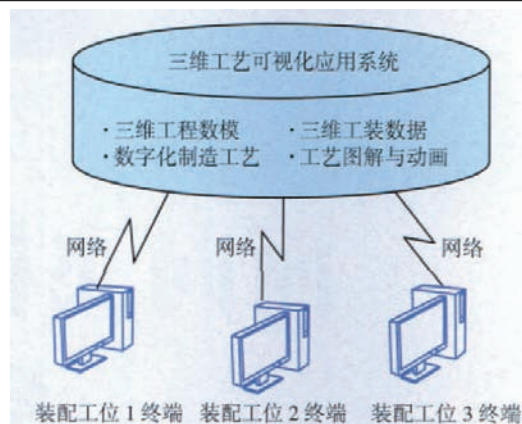


图6 MBD数据在飞机数字化装配现场的应用模式

在装配工作准备与培训阶段,通过观看装配过程动画,可以使装配工人对整个装配工作有一个直观的了解,掌握装配工作的内容,包括装配对象、装配顺序、零件定位方法等。通过数字化装配应用终端,现场操作人员能够查询、浏览到装配工艺流程信息和操作过程工艺图解,以多媒体动画方式观看装配过程,对生产操作过程起到直观的指导作用。同时,通过工艺信息中建立的链接,可以在数字化环境下浏览三维飞机产品数据和三维工装资源数据,并下载装配操作相关的工艺参数数据,实现三维数字化工艺数据的可视化集成应用。

结束语

MBD 是飞机设计制造数字化技术发展的新阶段和总趋势,采用 MBD 技术体系将为航空制造带来管理上和效率上的飞跃。在 MBD 的技术体系中,MBD 数据集内容包含设计、工艺、制造、检验等各部门的信息。在数据管理系统和研制管理体系的控制下,各职能人员可以在 1 个产品模型上协同工作,提高了设计效率,同时也提高了产品的可制造性。MBD 技术在飞机装配中的应用将改变传统的飞机装配模式,使飞机装配的数字化技术跃上一个新的层次。

(责编 良辰)