

基于数字模型的工艺设计与应用

巩玉强

(中航通飞华南飞机工业有限公司, 珠海 519040)

[摘要] 国内外新一代飞机已全面采用数字化设计, 制造工艺部门应以此为契机, 改进数字化工艺设计手段, 充分利用产品三维设计数据, 全面推广基于数字模型的工艺设计方法和应用范围。提出了基于数字模型的飞机装配工艺协调设计, 阐述了装配协调数据的定义方法, 介绍了开展生产线三维工艺规划的方法和流程。提出了基于数字模型的全机和供应商制造构型设计模式。提出了基于数字模型的供应商交付规范的编制方法, 阐述了三维装配工艺指令设计平台的功能、数字化装配工艺设计流程和虚拟仿真应用等内容。

关键词: 数字模型; MBD; 装配协调; 生产线规划; 制造构型; 交付规范; 三维可视化装配指令

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2020.08.026



巩玉强

高级工程师, 主要研究方向为飞机大部件装配协调、飞机数字化装配及仿真、MBD 技术及应用等, 曾先后主管某歼击轰炸机机身结构装配、某大型运输机部件自动化装配及其数字化仿真和三维数字化装配工艺设计系统开发、民用飞机生产适航委任代表等工作。目前主要负责大型灭火/水上救援水陆两栖飞机全机部件装配协调。

自 1799 年法国学者蒙日发表《画法几何》以来, 工程师们一直使用二维平面工程视图来表达产品, 然而受制于纸制二维工程图的表现力, 在从实物向抽象的二维视图表达方式上浪费了设计师/工程师大量的精力去定义和识别, 很难避免出现歧义和偏差。随着计算机和软件技术的发展, 出现了第 2 代工程语言, 即在飞机设计领域逐渐采用三维数字化实体设计加电子化二维投影工程图的表达方法, 大幅度提高了设计效率和质量, 使得设计及制造技术人员可以在有三维实体模型参考的情况下进行二维工程图的判读, 是产品设计工程语言领域的革命性进步。近几年, 随着大型三维协同设计软件以及基础标准研究的进步和成熟, 在航空制造领域逐渐采用基于全三维数字化模型的协同设计并逐步成为第 3 代工程语言^[1]。

基于模型的定义 (Model Based Definition, MBD), 是美国机械工程师协会及波音公司等经过 10 多年的基础研究, 并在波音 787 飞机上

正式全面推行的新一代产品定义方法。在基于 MBD 技术的产品设计中, 用一个集成的三维数字化实体模型完整地表达产品信息, 即将制造信息和设计信息 (三维尺寸标注及各种制造信息和产品结构信息) 共同定义到产品的三维数字化模型中, 同时融入知识工程和产品设计/制造标准规范等, 从而取消二维工程图, 保证了设计数据的唯一性。MBD 不是简单的三维标注 + 三维模型, 它不仅描述产品几何信息, 而且定义了三维产品几何信息和非几何的管理信息 (产品结构、产品制造要求、BOM 等), 使用人员仅需数模即可获得全部信息, 减少了对其他信息系统的过度依赖。

近些年, MBD 技术在国内均处于深入发展的完善阶段。波音和空客在此方面起步较早, 基础研究积累较好, 应用较为成熟。国内新飞机型号也采用了三维数字化设计并推广了基于 MBD 的设计方法, 但在 MBD 定义和使用基础技术研究方面还处于跟踪摸索阶段, 尤其是基础标

准和设计规范研究领域差距较大,缺乏设计制造一体化思维,基于MBD的工艺设计及数据管理方面也处于应用探索阶段,深度和广度有待进一步提升。近几年智能制造受到广泛关注并越发受到制造业的重视,但成功实施智能制造的前提是产品设计的数字化、制造技术的自动化以及信息系统与物理硬件集成化。产品设计数字化是智能制造最根本的要求,先进高效的工艺设计则是数字化的产品与自动化制造系统之间的桥梁,是实现智能制造的关键环节之一^[2]。

基于数字模型的工艺设计与应用

在飞机型号研制过程中,整个项目的数据呈现金字塔模式。产品设计部门主要进行产品设计数据定义,其侧重于产品功能的完整性和技术可行性,其数据处于金字塔顶端;制造工艺系统则需要产品设计数据基础上,对产品的可制造性、零部件装配协调、供应商产品数据定义和控制、生产线工艺布局规划、工艺装备设计、制造构型、装配流程设计等进行全面分析和规划,其数据量大且逻辑复杂,处于金字塔中低端。以前受产品采用二维图样设计方法的限制,制造工艺系统大部分工作只能采用串行模式开展,因此制造单位一般需要制造昂贵的物理样机进行系统和工艺协调,效率低、协调精度差、返工多、损失大。随着三维数字化设计软件技术和计算机技术的进步,特别是产品采用MBD设计后,为制造工艺系统全面采用数字化工艺设计提供了数据和技术保障,制造工艺系统可以直接利用产品数字模型并行开展工艺性审查、装配方案设计、生产线规划、制造构型策划、工装设计、物料采购等工作,大幅度提升了工作质量和效率,产品数字模型已经成为开展并行工程的信息载体和

技术保障。当前,制造工艺系统以产品数字模型为基础,在以下几个工艺设计领域进行了有效的探索和应用。

1 基于数字模型的装配协调

与产品设计侧重于不同专业间的布置协调不同,产品制造是一个动态的、分阶段的、不断变化的过程。在零件加工、部件装配、总装测试等不同阶段,产品与工艺装备之间以及各级供应商之间均需要对其协调界面进行分离面划分、控制要素识别、容差分配等装配协调工作。以前装配协调大都采用纸质文档、图表、实体标工、样件等,其流程过长、数据分散,使用和存储要求高,标工及对应工装需要定期检查维护,成本高、管理难度大。

计算机技术、数字化设计软件技术、数字化制造及测量技术不断

成熟,为飞机装配工艺开展数字化装配协调提供了技术保障,工艺系统可以在产品数字模型基础上对飞机装配过程中所需控制的协调要素采用数字量进行表达和协调。通常,此类模型称为制造协调数据集,可在产品设计模型基础上通过数字量的形式进一步分解和描述零组件、装配件以及工艺装备的容差分配、测量要求、制造状态等工艺控制要求,如图1所示。

协调数据集减少了实体标工的使用,提升了制造协调精度,大幅度降低了研制成本,同时采用基于模型的协调数据集后,全机协调数据可以与产品数据协同设计、统一管理,并作为唯一的协调数据源(图2),保证了装配协调技术要求的准确性和完整性,提高了使用灵活性,降低了管理难度。

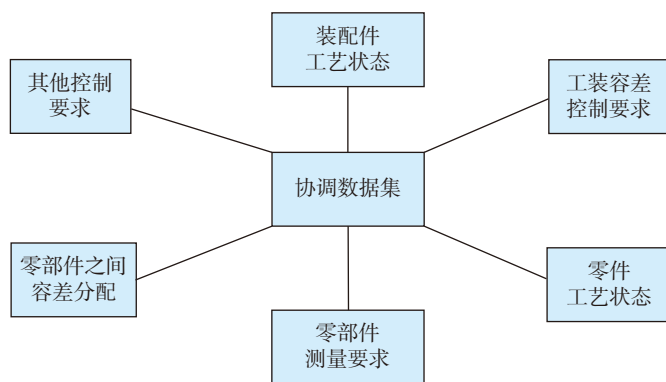


Fig.1 Main role of coordination dataset

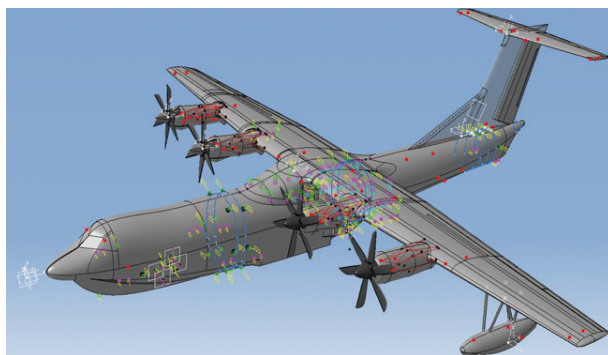


图2 某型号全机协调数据集

Fig.2 All coordination datasets for an aircraft

2 基于数字模型的生产线三维工艺规划

2.1 生产线工艺规划分类及存在问题

生产线规划有多种类型,按阶段可划分为前期规划及后期规划,前期规划重点在于总体需求和总体目标的决策,后者侧重于详细需求的设计和布置。相对来说,前期规划更加重要,尤其是涉及厂房等固定设施的生产线,前期需求决策失误会造成资金和时间上的重大损失,比如厂房尺寸不满足飞机通过条件,吊车选型不当,桁架承载能力不足等。按新建和改建来分一般有两种,一种是全新设计建设,本类型可能是应对全新的产品也可能是原有生产线的扩建;另一种是基于现有厂房等设施的改进改造,此种类型可能是更换产品也可能是为了原有产品的产能改造等。前者由于没有历史负担,可以按照产品及其产能最新要求进行全新规划设计,而后者则较为复杂,一般厂房等技术设施改造注意事项太多,需要从成本控制、原有设施布局可利用性、可通过性等多方面综合考虑^[3]。

飞机生产线作为航空制造企业最重要的生产设施之一,如何充分利用有限的生产面积进行科学合理的规划是保证生产线高效运行的重要课题。不管是新建飞机装配厂房还是对现有厂房或生产线进行改造,其建设周期一般较长,需要提前开展规

划,且飞机的装配工艺流程复杂,装配型架及生产辅助设备众多,特别是很多飞机部件价值高、装配周期长,厂房内很多设施如吊车、机床、大型装配型架等一次安装后很难进行布局更改。如果正式投产之后再行较大规模的工艺优化很可能导致风水电等布局的重构,不但改造费用昂贵甚至会导致生产线的长期停产,因此提前对飞机生产线进行全方位的工艺规划,理顺装配流程和空间分布,保证飞机部件安全顺利地生产和运输,尽可能地优化厂房生产设施的布局是一项重要工作。

以前生产线工艺规划主要采用平面缩比模型和绘制平面简化工程图的方法进行。前者是按比例制作不同的小模板来模拟飞机部件,在空地上或桌子上大致模拟厂房工艺布局,如图3所示;后者则是手绘图纸或者借助二维绘图软件绘制框图替

代飞机部件进行生产线的工艺规划,如图4所示。上述两种方法都只能在二维的角度上笼统地进行规划,无法从三维空间的角度评价工艺流程和设施布局的合理性,如吊车的空间布置和部件吊装、运输路径分析等。随着计算机技术和三维设计软件的进步,采用三维数字模型开展生产线工艺规划成为可能,也只有采用基于数字模型的三维可视化技术才能全方位地进行生产线的工艺规划。

2.2 基于数字模型的生产线三维工艺规划

在不同类型的生产线规划建设,面向全新产品的生产线设计或生产线改造属于最为复杂的类型,本文就此类生产线在不同阶段下的三维工艺规划流程及方法进行阐述。

(1) 生产线前期三维工艺规划。

前期工艺规划虽不像后期详细规划那样要求细致,但必须保证整体

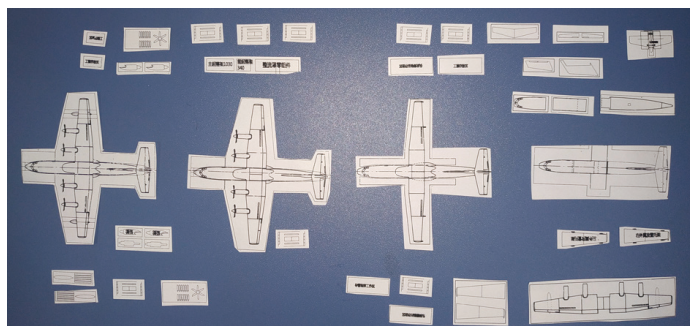


图3 采用平面缩比模型进行生产线工艺规划

Fig.3 Production line process planning using 2D scaled model

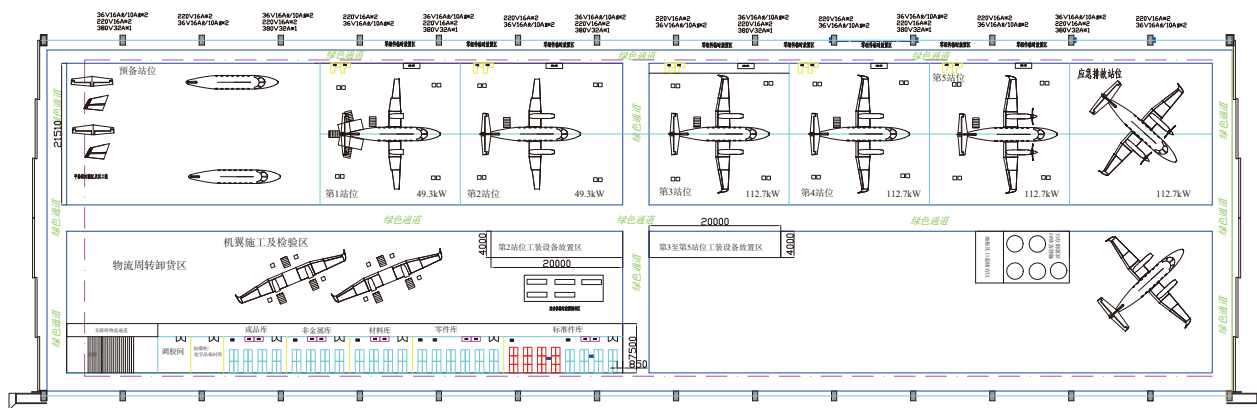


图4 采用平面简化电子工程图进行生产线工艺规划

Fig.4 Production line process planning using 2D simplified electronic engineering drawing

规划和布局的科学和合理性,避免后期出现颠覆性更改,是对后期详细规划的顶层设计。采用三维可视化的技术能够更为直观有效地实现厂房前期规划的要求,但此阶段飞机还处于总体设计阶段,细节结构等属于初步设计甚至未开始,因此缺少飞机部件详细参数,不过随着双方工作的不断推进,必要参数一般可及时获取。制造工艺系统的装配方案处于总体论证阶段,没有确定的工装设计三维模型,需要规划技术人员依据飞机研制总方案和现有经验进行工装简化模型的设计。生产线改造还需要进行现有厂房设施测量和建模,对规划人员经验和技术水平要求较高。另外,还需选择适于模型快速设计迭代的三维规划软件,与产品设计软件可进行数据交换且利于方案展示,比较适于此阶段工作的软件建议选择 CATIA、DELMIA 以及 3DS MAX 等。此阶段主要在于生产线流程的梳理、主要工艺装备及厂房主体设施的建模、生产线三维总体布置及模拟分析等,如图 5 所示。

(2) 生产线后期三维工艺规划。

随着产品设计成熟度的不断提升以及工艺系统的各类制造方案业已成熟,生产线经过前期方案的规划已基本确定主要参数。此时要逐步开展生产线详细且全面的规划,此阶段所需的工艺装备数据已经较为完善,可在规划时直接使用,生产线中各类工装的布置、气源、电源等的管线均采用数字模型进行定义。在全面分析产品生产流程基础上,从三维立体空间的视角合理设计并对物流通道以及主体工艺流程开展三维数字化虚拟仿真模拟,避免物流瓶颈、运动干涉以及生产线运行不畅等问题,此阶段尽量选择与产品设计相同的软件开展工作,保证数据的无缝衔接,提高工作效率。当前国内飞机设计一般采用 CATIA 软件,因此生产线后期工艺规划可采用 CATIA 进行

布局规划,采用 DELMIA 系统开展生产线制造工艺过程仿真实验。图 6 为基于 DELMIA 系统开展的生产线产能虚拟仿真实验。

通过对生产线详细分析和优化,可进一步完善和细化生产线数字模型,最终实现工厂完整的数字化规划和设计,并与实际工厂统一管理,实现工厂的数字孪生,作为生产系统进行运维的技术支撑,为实现数字化工厂打好基础^[4]。

3 基于数字模型的制造构型设计

3.1 产品制造构型设计存在的问题

随着研制模式的变革和市场发

展的需要,飞机研制逐步采用主供模式。供应商负责零部件制造,主制造商负责大部件和系统的总装集成,这要求主制造商不但要对全机涉及的所有零部件供应商在厂际之间进行高效的协调,同时主制造商需对供应商所负责的零部件交付状态进行准确描述,以便供应商按照主制造商要求的状态进行交付,满足飞机不同供应商提供的部件之间的软硬件交付要求。当前国内主制造商一般通过交付规范书明确供应商零部件交付要求,采用纸质版或二维电子说明文档形式进行交付状态定义,即通过大

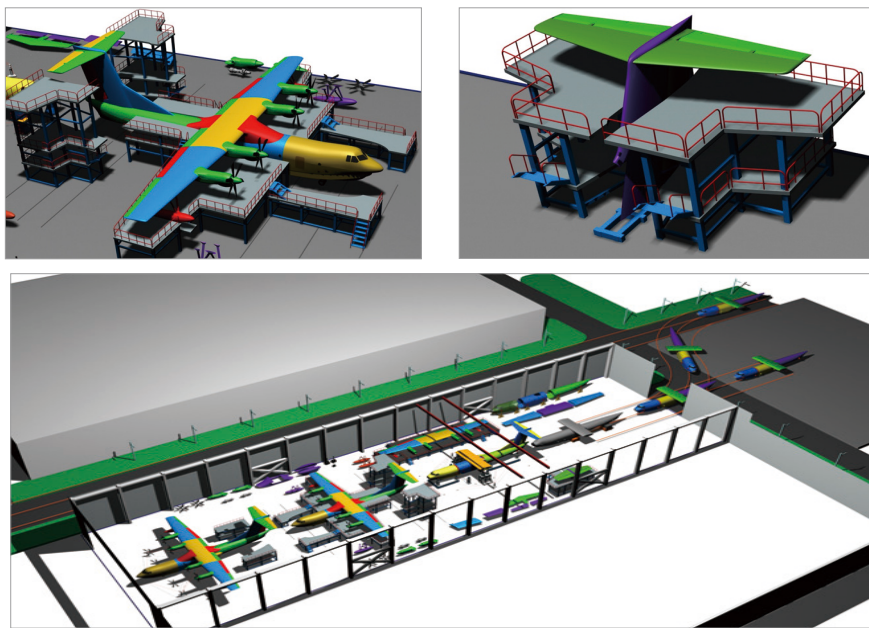


图5 厂房及工艺装备等的建模与布置

Fig.5 Modeling and layout of plant and process equipment

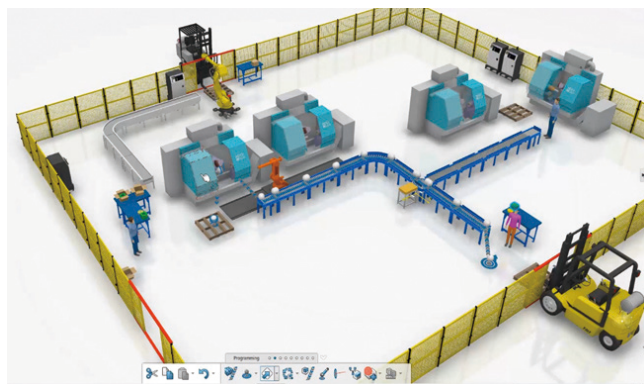


图6 基于DELMIA系统开展的生产线功能虚拟仿真

Fig.6 Virtual simulation of production line based on DELMIA

量文字并附部分图片的形式描述飞机交付状态。此种方法编制过程以文字为主,工艺技术人员需耗费很大精力将飞机产品设计要求和特殊工艺要求转换到文字描述中,供应商在阅读过程中需要重新还原设计要求和主制造商的特殊工艺要求,容易出现识别偏差,不利于工艺信息快速准确的传递,同样也不利于主制造商检验技术部门快速识别供应商交付零部件的实际状态。因此,在三维数字化设计已经成熟的背景下,采用基于数字模型的供应商零部件三维数字化交付规范,即在三维环境下定义供应商零部件制造技术状态要求,是完全可行且必要的^[5]。

3.2 基于数字模型的供应商产品制造构型设计

产品设计主要考虑功能设计,其构型设计一般按专业划分,不同专业设计在总体部门的协调下完成各自专业的零部件设计。工艺部门需按照供应商现状进行厂际技术状态策划,明确供应商制造构型,因此需要将设计构型按照实际情况转化为制造构型,对于如何定义供应商零部件

的构型状态,要考虑供应商和主制造商各自技术和管理要求,提升管理效率。在主供模式下,主制造商只开展总装及试飞工作,零部件均由相关供应商提供,因此供应商交付的零部件作为总装阶段的零部件,也是开展总装工艺指令编制的配套输入,故需按总装工艺流程要求明确供应商需制造的零部件状态,例如部件的制造细节要求,如余量、留位、导孔等。另外还要考虑零部件质量控制、装配协调、工艺装备以及入厂验收等要求。对于主制造商,供应商制造构型应尽可能集成工艺设计部门、质量部门、采购部门以及车间装配工艺要求,目标是实现对供应商零部件制造和交付状态统一、完整、准确的表达和控制,使其作为供应商构型状态控制的唯一数据源^[6]。

(1) 基于数字模型的供应商产品制造工作包定义。

综合设计构型特点、主供模式管理要求、总装阶段工艺设计数据输入要求、产品入厂检验验收要求,供应商制造构型可采用工作包形式进行划分,即将设计构型按照实际制造分

工进行分解重组为以供应商为单元的工作包,每个工作包中划分为部组件和散件状态。对于部组件或散件工艺技术细节要求以及其他相关要求,通过单独的数字模型(描述制造交付要求的模型,简称交付R模型)进行表达。所有供应商的工作包统一规划,即为全机制造构型(可简化理解为PBOM)。

从国内外主供模式分析,供应商主要分为两种类型,第1种是仅负责单一结构或系统的制造,此类称之为专业化供应商;第2种可提供多种系统件的制造,此类称之为集成供应商。空客公司的供应商主要是集成供应商,波音公司的主要供应商既有集成供应商也有专业化供应商。针对不同类型的工作包分工,可采用两种不同的构型划分方式,具体如图7和8所示。

上述工作包中所述的部组件状态、散件状态以及交付R模型分别描述供应商零部件的制造过程及交付时的构型和细节技术状态要求,两者统一组成供应商产品制造构型。

针对某一型号主要供应商均只

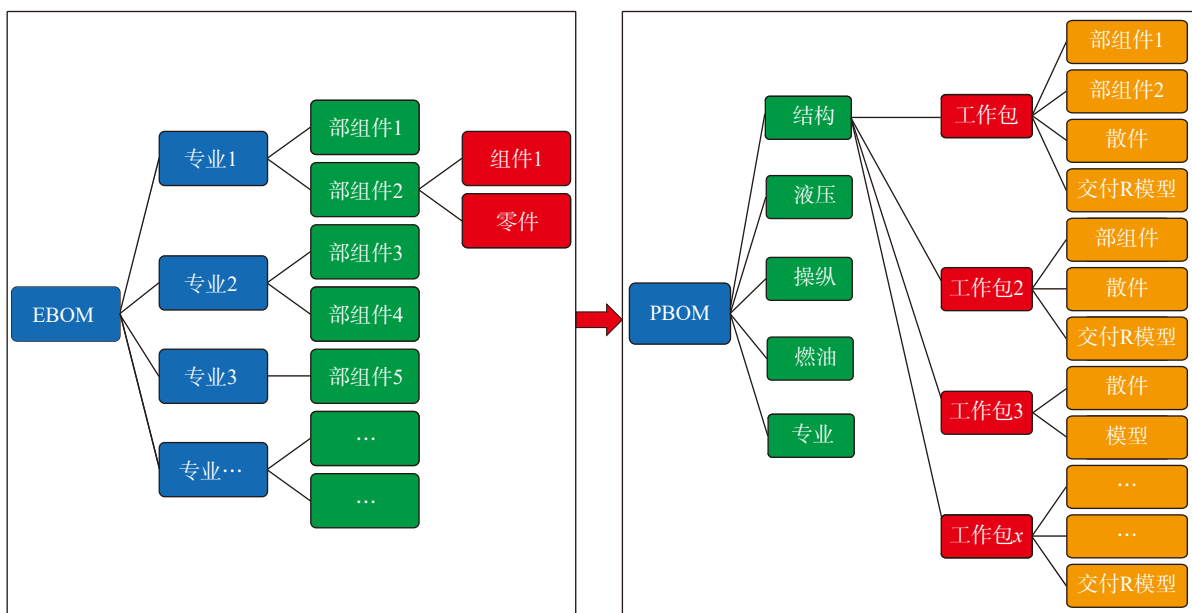


图7 面向专业化供应商的制造构型定义

Fig.7 Definition of manufacturing configuration for specialized suppliers

负责专业化零部件制造的特点,供应商制造构型可按图7模式进行定义。采用上述划分方案可以将供应商交付的零组件构型与总装阶段消耗的配套进行有效衔接,保证供应商交付的零部件状态与总装物料需求的一致性,图9所示为供应商交付构型与总装工艺设计配套输入的关系。

主制造商完成总装阶段装配工艺指令设计后可形成总装阶段的详细物料清单和需求拉动计划用于供

应链部门制定全机采购计划。

(2) 基于数字模型的供应商零部件三维数字化交付规范设计。

在主供模式下,供应商需要主制造商明确其零部件交付时的具体状态,如零部件数量、导孔位置及数量、装配孔位置及数量、余量的位置及参数、临时连接的部位等实物状态;需要明确其负责零部件的相关工艺测试要求,如部件测量数据以及相关系统试验性能等;同时还需要明确相关

软件材料,如实物构型、测量报告、试验报告以及质量报告等。通过采用基于模型的三维数字化交付规范,可以保证供应商制造零部件时所需工艺信息的完整性、准确性和可读性。

三维数字化交付规范由部组件构型、散件构型以及交付R模型组成(架构形式见图7和8),部组件及散件为设计构型的分解和重组,底层零件与产品设计一致。

部组件构型中ICI(CI为构型

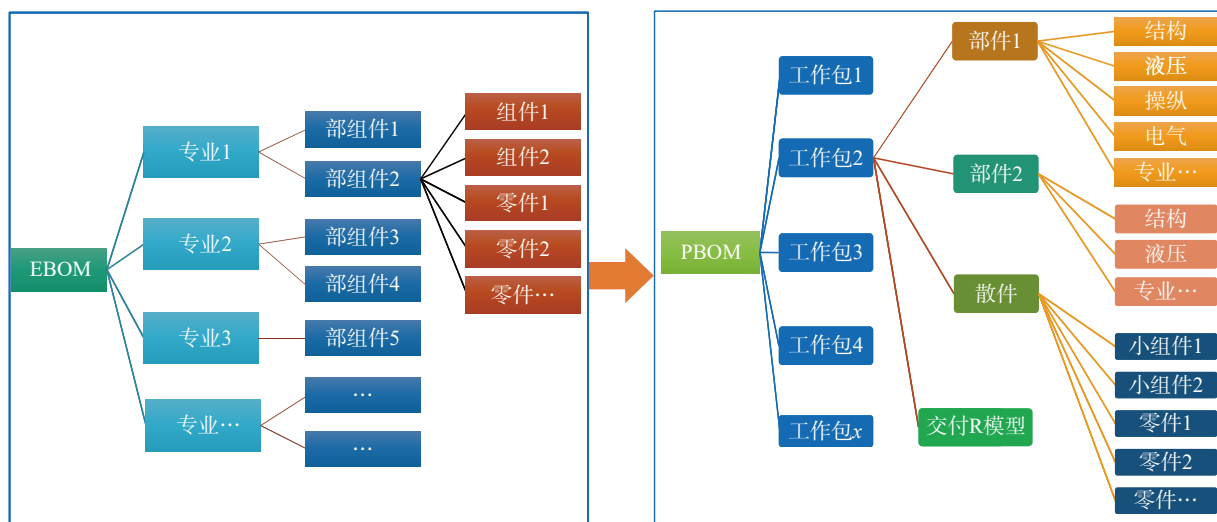


图8 面向集成供应商制造构型定义

Fig.8 Definition of manufacturing configuration for integrated suppliers

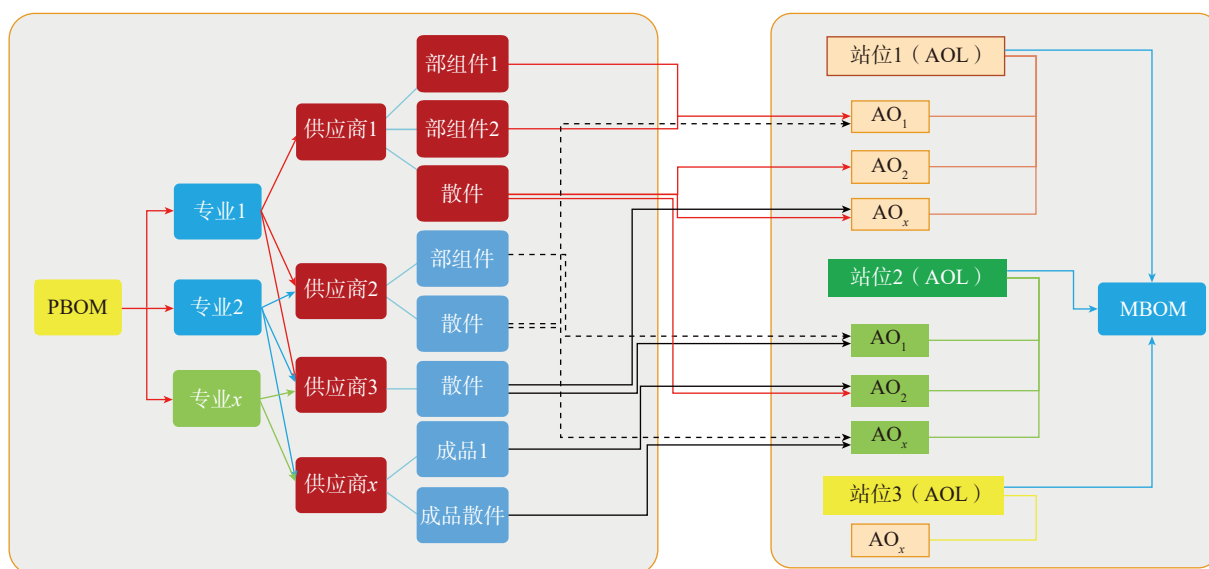


图9 供应商交付零部件与主制造商MBOM关系

Fig.9 Relationship between parts delivered by suppliers and MBOM of main manufacturer

项, ICI 为不变构型项, 无版次控制; VCI 与 LCI 为可变构型项, 有版次和有效性控制) 构型项全部清除, 仅保留设计构型中的 VCI 和 LCI 及以下层级。针对部分 VCI 和 LCI 项会出现跨供应商的情况, 需要进行拆分, 同时要与原有 VCI 和 LCI 关联, 以便同步跟踪设计更改, 不过此类情况会导致制造构型管理变得复杂, 因此应在设计构型策划阶段与相关设计人员进行协调, 细化构型分离面, 避免 VCI 和 LCI 项跨供应商的情况出现, 尽可能地保证设计模块划分与制造模块划分一致。

散件项即供应商以散件形式交付的零件和小组件, 与部组件相同, 存在拆分设计构型项的情况, 故工艺技术人员应在设计构型策划阶段协调, 将单个工作包的散件置入单个 VCI 或 LCI 中, 便于设计更改跟踪和实物构型控制, 简化管理流程。

交付 R 模型用于描述供应商零部件制造的细节要求以及质量、试验等管理要求, 同时还需要明确数据交互的基础信息。交付 R 模型采用 MBD 形式表达, 采用飞机坐标系进行相关模型定义, 以 MR (Manufacturing Requirement) 进行命名, 其主体架构如图 10 所示。编制人员或供应商使用人员将交付 R 模型与对应产品同时加载即可在三维可视化的环境下进行编制或读取。图 11 所示为某飞机部件交付 R 模型集的使用示意图。

采用 MBD 形式表达零部件制造技术状态时, 可充分利用其信息量承载大的特点, 将工艺状态要求、管理要求等尽可能多的信息采用标准化的描述定义到模型中, 按照某型号对供应商的管理要求, 交付 R 模型详细设计说明见表 1。

4 装配工艺规划和指令编制

当前, 国内大部分装配工艺设计部门依然按照传统方式进行装配工艺的规划和指令编制, 导致三维数字

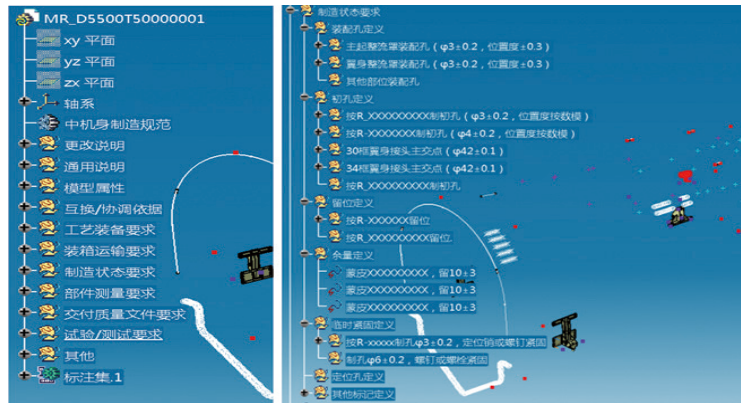


图10 交付R模型总体架构

Fig.10 Overall architecture for delivering R model

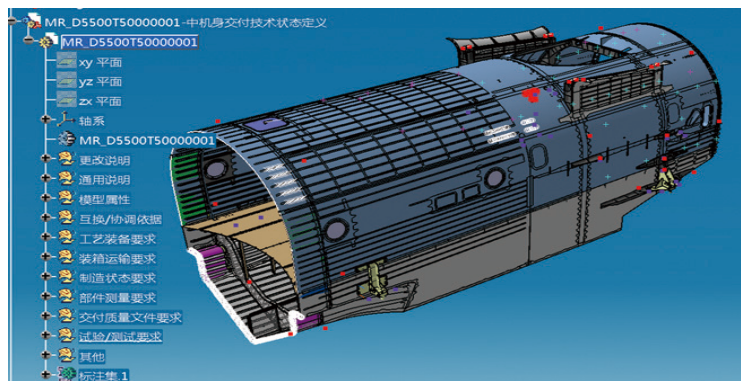


图11 某飞机部件交付R模型使用示意图

Fig.11 Demonstration of delivering R model for an aircraft component

表1 交付R模型详细设计说明

Table 1 Instructions for detailed design of the delivering R model

序号	要求定义	内容说明
1	更改说明	描述最新一版相对于上一版交付定义的更改内容
2	通用说明	对本交付定义的产权、密级、比例、版次、单位、材料以及其他必要说明
3	模型属性	定义有效性、名称及版次
4	互换 / 协调依据	描述厂际之间协调依据文件及协调数据来源
5	工艺装备要求	描述零部件制造对应工装的要求说明
6	装箱运输要求	描述零部件交付时装箱运输的要求文件
7	制造状态要求	描述供应商在制造零部件时需要实施的相对于产品设计要求之外特殊要求, 包括装配孔定义、初孔定义、留位定义、余量定义、临时紧固定义、定位孔定义以及其他必要信息
8	部件测量要求	描述零部件交付时需进行测量的位置及数据要求说明
9	交付质量文件要求	描述质量体系要求需随零部件一起交付的相关文件
10	装箱运输要求	描述零部件交付需完成的试验和测试工作
11	其他要求	描述零部件制造所必需的其他要求, 如工装轮廓数据
12	标注集	描述零部件制造状态的三维标注, 包含尺寸、空间说明等

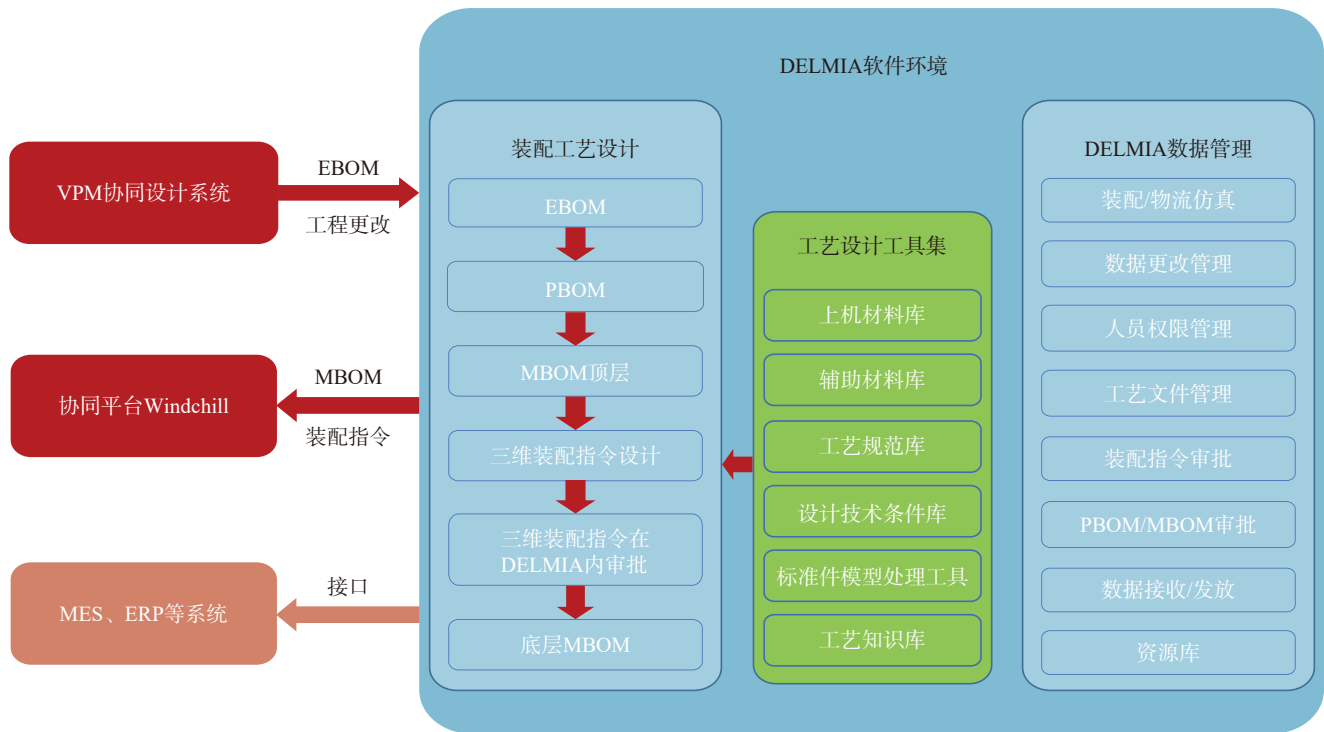


图12 基于DELMIA系统的工艺设计系统典型架构

Fig.12 Typical architecture of process design system based on DELMIA

化的产品数据在装配工艺设计阶段出现断层,使得三维数字化的产品设计数据无法准确完整传递给工艺设计部门,数据的准确性、连续性被割裂,手工编制装配指令费时费力,工人现场使用时还需查阅大量设计技术文件以及各类工艺性文件,可读性和操作性极差,一线操作者理解困难,现场指导作用较差。

因此,装配工艺设计部门需要适应全三维数字化设计的新形势,开发三维数字化装配工艺设计系统,基于产品数字模型进行装配工艺的设计和规划。图12为基于DELMIA系统的工艺设计系统典型架构。工艺人员利用设计部门在设计系统中设计并发放产品的三维数模,通过数据接口将产品数据导入装配工艺设计系统,并将产品的三维数模关联到每个工序上,在三维可视环境下进行工艺规划和零组件划分,直观地反映装配状态和工艺过程,最后生成现场使用的三维可视化装配指令来指导现

场生产^[7]。

基于数字模型的三维数字化装配工艺设计不仅是编制三维装配指令,而是贯穿装配工艺设计的整个过程,不同阶段有不同的侧重点,这个过程主要包含以下3个阶段。

第1阶段:工艺系统接收产品初步设计模型,分析产品结构特点,与设计人员协商初步确定工艺分离面并制定初步的装配方案;然后在三维仿真软件内进行装配方案可行性

的初步分析,制定总体装配方案,分析可能的装配难点和重点,本阶段也称之为前期工艺性审查。

第2阶段:工艺系统接收较高成熟度的产品设计模型,在三维仿真软件内对重点部位(必要时对全部)结构件、管路、自动化装配设备等进行装配过程和人机功效的详细仿真分析,发现并解决产品、工装以及工艺方面的问题,如图13所示。

第3阶段:按照设计部门发布



图13 人机功效及自动化装配虚拟仿真

Fig.13 Virtual simulation of ergonomics and automated assembly

的最终三维 MBD 设计模型,创建 PBOM,其架构参照图 7 和 8。在数字化工艺设计系统中进行装配工艺的详细规划和细节设计以及资源库的创建,在三维可视化的环境下进行零组件以及标准件的划分,在全三维的环境下对装配指令进行工步级的细节编辑及工时定义,编制从工步级到站位级的装配工艺流程,最终生成现场使用的标准格式的三维可视化装配工艺指令(也可定制输出二维工艺指令)、零组件物料需求清单和物料拉动计划等,如图 14~17 所示。

基于模型的三维装配工艺设计系统可按照相关业务需求,实现工艺设计数据结构化管理及审签控制,其通过数据接口可以与 ERP 以及 MES 系统进行集成,给相关系统提供物料采购信息以及现场执行所需的工艺数据信息。同时针对民机研制过程中适航审查要求所需输出的 6 大类报表等均可自动创建和输出,提高了工作效率和数据的准确性、完整性^[8]。

结论

本文通过对当前数字化设计应用现状的分析,阐述了基于数字模型开展工艺设计的必要性和可行性,经过近几年数字化装配技术、协调技术

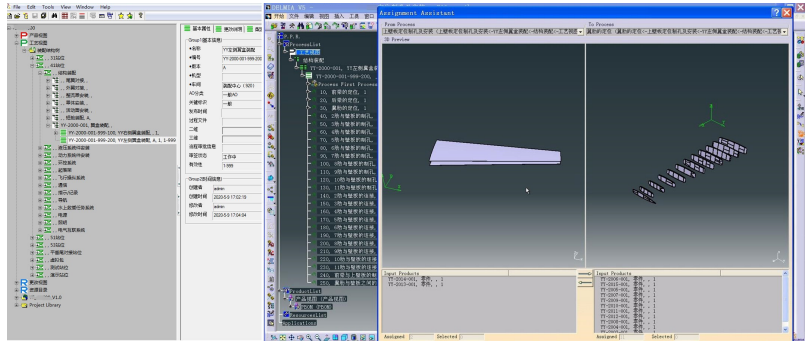


图14 装配工艺规划及零组件划分

Fig.14 Assembly process planning and division of components



图15 装配工艺流程规划

Fig.15 Planning of assembly processes

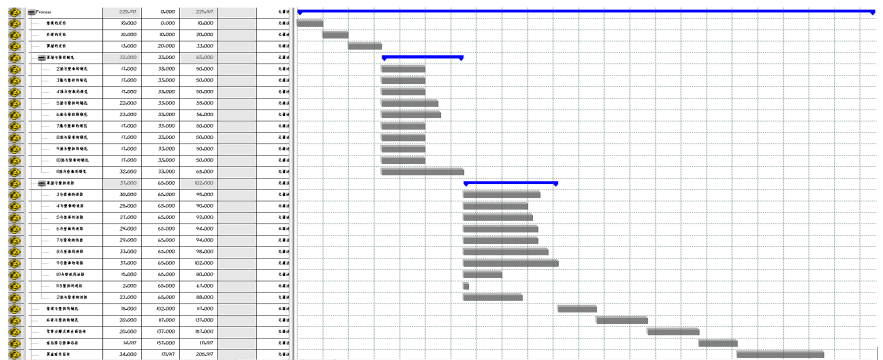


图16 装配工艺指令工时定义

Fig.16 Working hours definition of AO

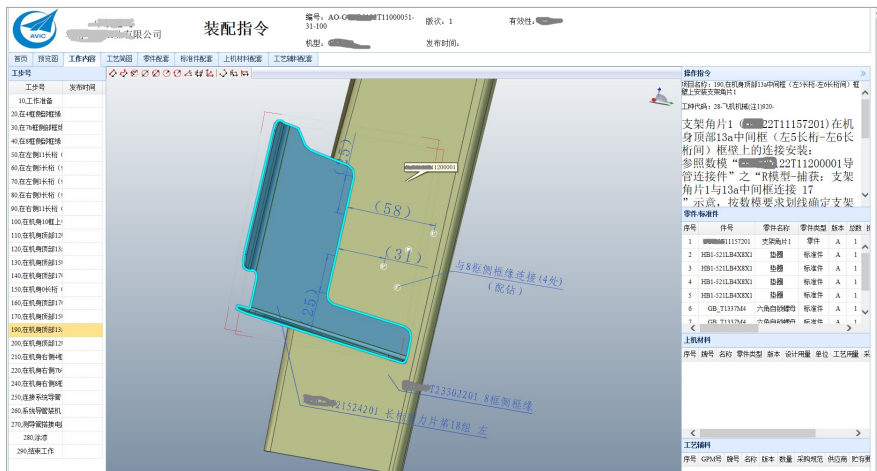


图17 标准格式的三维可视化装配工艺指令

Fig.17 3D visual AO in standard format

的研究,开展了基于数字模型的工艺设计应用的探索,在装配协调、生产线规划、供应商制造构型定义、三维数字化交付规范设计以及装配工艺规划和指令编制等领域进行了有益探索并取得了较好的应用效果。后续将在工程实践基础上进一步完善技术路径,同时也需要设计与制造系统进一步融合,实现设计制造一体化,为实施智能制造提供技术和组织保障。

参考文献

[1] 冯潼能,王铮阳,宋娅. MBD技术在协同设计制造中的应用[J]. 航空制造技术, 2010, 53(18): 64-67.
FENG Tongneng, WANG Zhengyang, SONG Ya. Application of MBD in collaborative design and manufacturing[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2010, 53(18): 64-67.
[2] 莫蓉. MBD技术应用中的若干问题思考[J]. 航空制造技术, 2015, 58(18):

26-29.

MO Rong. Reflection on problem in MBD technology application[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015, 58(18): 26-29.

[3] EJEH J O, LIU S S, CHALCHOOGHI M M, et al. Optimization-based approach for process plant layout[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2018, 57(31): 10482-10490.

[4] 饶有福. 基于模型的企业(MBE)在航空业的实践与发展[J]. 航空制造技术, 2015, 58(18): 89-91.

RAO Youfu. Application and development of model-based-enterprise (MBE) in aviation industry[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015, 58(18): 89-91.

[5] SONG X H, LU Y, LIU Z B, et al. Research on application of digital assembly technology based on MBD in spacecraft field[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 408: 012026.

[6] 吕潇超. 基于模块的民机全面构

型管理研究及应用[J]. 航空制造技术, 2015, 58(18): 98-101.

LÜ Xiaochao. Research and application of comprehensive configuration management based on module for civil aircraft[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015, 58(18): 98-101.

[7] 巩玉强. 基于MBD的飞机三维数字化装配工艺设计及应用[J]. 制造业自动化, 2014, 36(22): 103-107.

GONG Yuqiang. Aircraft 3D digitized assembly process design and application based on MBD[J]. Manufacturing Automation, 2014, 36(22): 103-107.

[8] HUANG Y W, TANG Z Y, ZHANG X H, et al. Research on the three-dimensional process design method of shipbuilding based on MBD technology[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 616: 012029.

通讯作者: 巩玉强, E-mail: gongyuqq@163.com。

Process Design and Application Based on Digital Model

GONG Yuqiang

(AVIC GA Huanan Aircraft Industry Co., Ltd., Zhuhai 519040, China)

[ABSTRACT] The new generation of aircraft at home and abroad has fully adopted digital design, so our manufacturing process department should take this as an opportunity to improve the process design method, make use of 3D product design data, comprehensively promote the process design method and application range based on digital models. This article proposes a method for aircraft assembly process coordination design based on digital mode, describes the definition of assembly coordination data, introduces the method and process of 3D process planning of production line, describes the manufacturing configuration design patterns based on digital models, puts forward a method for supplier delivery specifications based on digital model, describes the functions of the 3D assembly process instruction design platform, the digital assembly process design flow, and the application of virtual simulation.

Keywords: Digital model; MBD; Assembly coordination; Production line process planning; Manufacturing configuration; Delivery specification; 3D visual assembly order (AO)

(责编 思齐)