

飞机数字化装配数据集成管理研究*

Data Integration Management of Digital Assembly for Aircraft

西北工业大学机电学院 亢颖 王仲奇 康永刚 李西宁
中航工业西安飞机工业(集团)有限责任公司 杜坤鹏

[摘要] 为了适应现代飞机制造业数字化管理的需要,提高装配数据的共享度和集成度,本文论述了飞机数字化装配数据集成的内涵,通过分析飞机数字化装配业务流程,明确了装配数据在信息化管理软件 PDM、CAPP、ERP、MES 之间的数据交互过程,以网络和虚拟数据库技术为支撑,建立了以 PDM 为核心的系统集成框架,并建立了集成产品、工艺、资源和检验的统一装配数据模型,最后提出了一种 PDM 与 CAD、PDM 与 CAPP、PDM 与 ERP/MES 系统集成模式,并利用 XML 文件作为中间转化格式,实现系统之间的信息交换与共享。

关键词: 装配数据 集成框架 数据模型 XML

[ABSTRACT] To meet the current needs of digital management in aircraft industry and enhance the assembly data sharing and integrating, the connotation of the data integration management is discussed, and the information interaction among the PDM, CAD, CAPP, ERP/MES is confirmed by analyzing the work flow of the aircraft assembly in this paper. The system integration frame is established by the support of network and virtual database, in which the center is PDM platform. And the proposed uniform data model can integrate product, process, resource and inspection data for different systems. Finally the integration pattern of PDM and CAD, PDM and CAPP, PDM and ERP/MES is identified using XML files that are represented as the neutral file of the assembly data, by which the exchange and sharing of the data can be realized.

Keywords: Assembly data Integration frame Data model XML

飞机数字化装配过程中会产生或使用大量的装配数据,如产品数模、BOM、零部件交付规范、装配指令、数控程序及其他各种文档。这些异构数据由产品设计、工艺设计、工装设计、生产制造等不同部门建立、使用和维护。随着信息化技术的发展,各部门依附不同的计算机辅助系统协同并行作业,产生的数据类型、结构、通信协

议及物理分布不一致,导致产品装配各阶段各部门信息传递、更新、交换受阻,形成信息孤岛^[1]。

“产品生命周期管理(PLM)”策略^[2]和“数字化工厂(Digital Factory)”^[3]概念的提出,为并行协同的产品数字化装配过程的数据管理提出了新的途径。Gomez等^[4]提出了建立集成项目、产品、工艺和资源的面向全生命周期的数据模型,实现了基于PLM架构系统的业务集成和信息集成,但只在少量产品数据管理中得到验证,不能满足飞机数字化装配过程中庞大的数据量管理。Lee等^[5]提出PPR⁺模型的概念,建立产品、工艺、资源和人员数据之间的关系,通过XML格式文件实现PPR⁺集成器与各应用系统之间数据的共享。Zhu等^[6]提出了基于三维轻模型的制造数据集成管理模式,并通过该模式的应用建立了相关的业务和对象模型,为装配生产中的可视化协同交流提供了便捷性。这些探索缺乏对飞机数字化装配数据的深入分析,没有与我国当前飞机制造业所使用的应用系统相结合,不能直接应用于装配数据集成管理。

为了适应现代飞机制造业数字化管理的需要,提高装配数据的共享度和集成度,文中对装配数据进行分类,论述了飞机数字化装配数据集成的内涵,通过分析飞机数字化装配业务流程,明确了装配数据在信息化管理系统 PDM、CAPP、ERP、MES 之间的数据交互过程,以网络和虚拟数据库技术为支撑,建立了以 PDM 为核心的系统集成框架,并提出在 PPR 模型上丰富检验信息,建立集成产品、工艺、资源和检验的统一装配数据模型,最后确定最佳的 PDM 与 CAD、PDM 与 CAPP、PDM 与 ERP/MES 系统集成模式,并利用 XML 文件作为中间转化格式,实现系统之间信息交换与共享。

1 飞机数字化装配数据集成管理的内涵

飞机数字化装配数据是指飞机数字化装配工艺设计及装配制造过程中使用和生成的所有制造数据的总称,包括工程数据、装配工艺数据、制造资源数据和装配检测数据等^[7]。

工程数据是工程设计部门发布的表征产品结构、零部件物理特性和功能特性的产品设计数据,主要包括

* 国家科技支撑计划课题(2011BAF13B03)资助。

EBOM、三维模型、设计技术文件、工程更改等数据。

装配工艺数据是指在数字化装配工艺设计过程中生成及使用的反映装配工艺信息的数据,包括描述和控制飞机数字化装配全过程的装配工艺文件,如工艺总方案、PBOM、装配协调方案、互换协调图表、MBOM、工装申请单、AO 等。

制造资源数据是飞机数字化装配工艺设计过程中所使用的企业资源数据,包括厂房信息、装配工艺装备模型及基本信息、工具库、设备库、材料信息、人员配置等。

装配检测数据包括装配检验检测计划、现场装配过程中的检测记录、数字化测量设备的实测数据、误差分析数据等。

装配数据的产生是一个动态衍变的过程,随着装配业务流的推进而丰富。以上各类装配数据的交互和共享对管理和控制数字化装配业务流程具有重要意义,把不同应用系统及异构数据库之间的各类装配数据在逻辑上或物理上进行有机的集中,建立系统之间数据的关联机制,实现数据的交互表达和访问,可为企业提供全面的装配数据实时共享。

2 以工艺过程为核心的装配业务流程

工艺搭建了从工程设计到生产制造的桥梁,在生产活动中起着承上启下的作用,通过有效整合产品和资源,把数字化抽象定义的产品转化成具体的实物。以工艺过程为核心的装配业务流程应包括工艺准备和装配制造两个阶段,其中很多过程是迭代进行的,如图 1 所示。

2.1 工艺准备

工艺准备工作与产品设计协同并行,要保证数字化装配过程中的单一数据源,必须保证工艺准备阶段的 EBOM、设计数模、技术文件等工程数据与设计源头的一致性。工艺准备阶段主要包括装配工艺方案设计、装配工艺详细设计、工装设计和装配检验检测计划 4 部分内容。

2.1.1 装配工艺方案设计

飞机装配涉及大量结构复杂的零部件,为实现各部门协同作业,工艺方案规划人员必须对产品进行工艺分解,装配工艺方案设计的主要内容如下所述。

(1) 工艺总方案设计。

根据设计任务和产品功能的要求,充分考虑生产技术水平、制造基础资源等因素,建立设计、工艺、工装、制造等部门协同工作模式,进行产品可制造性分析,全面评价产品设计及工艺设计的合理性,并确定产品装配分工原则、互换协调原则和工艺装备选择原则等工艺工作

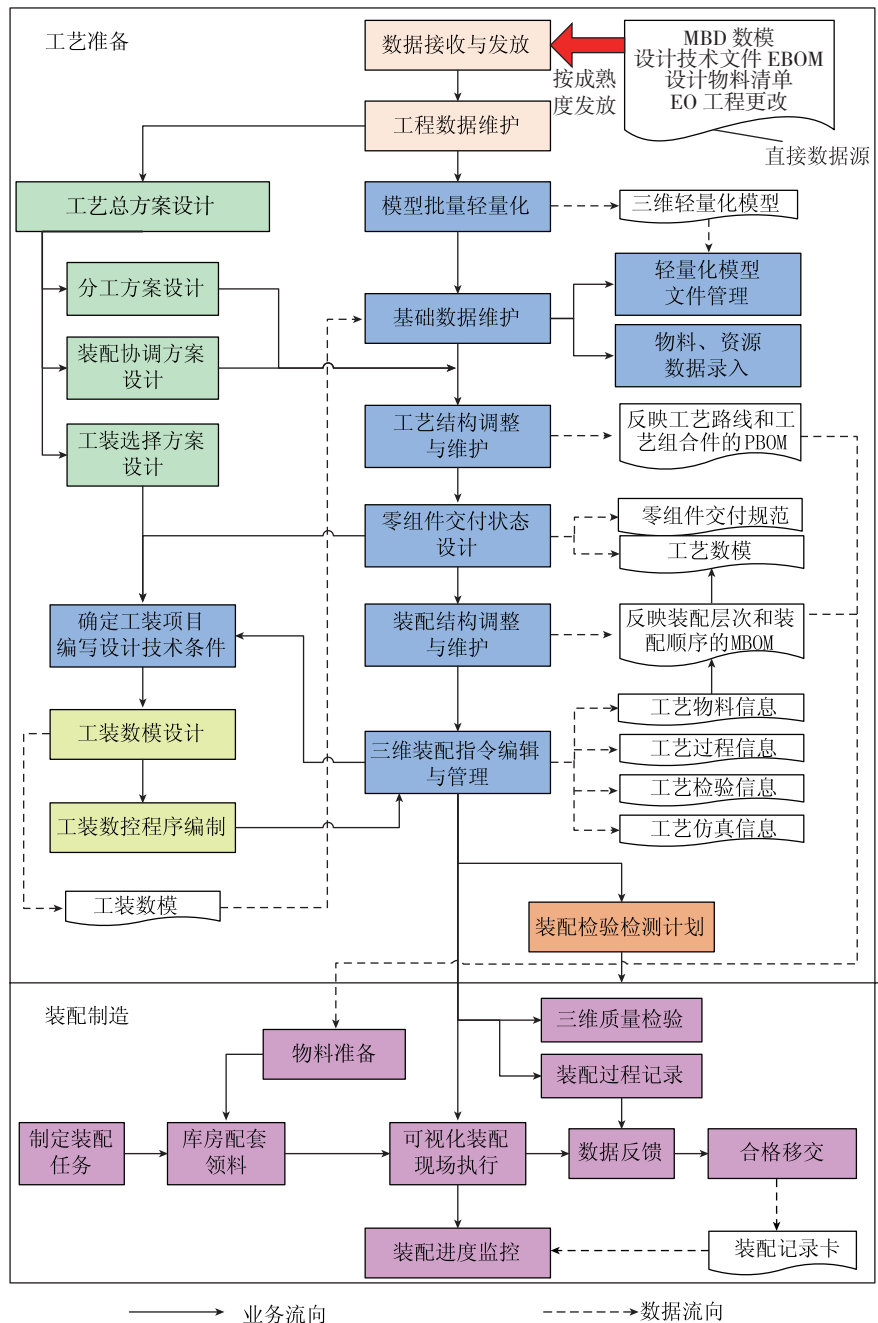


图1 数字化装配业务流程图

Fig.1 Process diagram of digital assembly operations

的总纲。

(2) 分工方案设计。

考虑设计分离面、产品结构特点及工厂生产能力等因素,工艺人员应对产品实施初步工艺分解,规划工艺分工路线及必要的工艺零组件。

(3) 装配协调方案设计。

考虑部件结构特点,确定部件工艺分离面,划分装配单元,确定装配对象的安装定位方法及交付状态,规划重要工艺装备项目和协调方法。

(4) 工装选择方案设计。

依据工程数据,结合装配工艺方案,确定产品定位面和关键尺寸,制定各类工装的基本方案,并进行工装骨架设计及定位器的初步设计。

根据工程数据的成熟度,分阶段完善工艺分工、装配方案、工装设计方案等。

2.1.2 装配工艺详细设计

装配工艺详细设计是根据正式发放的工程数据和工艺方案要求,完成以下工艺工作。

(1) 模型批量轻量化。

对设计的 MBD 模型进行批量轻量化处理,根据不同生产环节的需要过滤出装配生产不同环节所需的数据。在数字化装配工艺设计中,应将三维模型批量转换为统一的轻量化格式。

(2) 基础数据维护。

基础数据维护包括三维轻量化设计模型、工装模型和辅助资源等信息的录入和定义。这些信息一方面是装配制造运行所需要的基础数据;另一方面,通过资源的录入与属性定义,对资源进行分类整理,建立制造资源库,也逐步解决了企业资源混乱的问题。

(3) 工艺结构调整与维护。

在考虑工艺和生产能力的基础上,以 EBOM 为原型,通过定义工艺路线,添加工艺组合件等操作,构建工艺结构 PBOM,并应保证其物料项种类及总数量与 EBOM 一致,同时各应用系统的 PBOM 数据保持一致。

(4) 零组件交付状态设计。

根据工艺技术水平、PBOM、MBOM 等工艺信息,规定工艺零组件的构成、交付状态、制造协调要求等信息,输出用于现场装配移交检验的零组件交付规范及工艺数模。

(5) 装配结构调整与维护。

依据工艺总方案、装配协调方案、PBOM 等工艺信息及工程数据,划分层次装配单元,规划 AO,进行全机装配工艺仿真,构建反映装配层次和装配顺序的 MBOM 顶层结构;通过提取 AO 的配套信息,形成面向装配制造的 MBOM。MBOM 传递至装配制造部门用于开展物

料准备、装配任务规划等工作。

(6) 三维装配指令(AO)编辑与管理。

根据数模、工艺流程方案及基础性制造资源数据等,编制 AO,完善工装项目及技术条件,输出经装配工艺过程仿真验证的 AO,用于指导装配现场工作。

2.1.3 工装设计

工装设计制造部门依据工装项目申请单及设计技术条件、产品设计数模、三维工艺数模开展工装设计工作,输出装配工装数模,并根据装配工艺过程仿真,编制工装数控程序。

2.1.4 装配检验检测计划

检验检测部门依据设计部门正式发放的 EBOM、产品设计数模、产品设计技术文件、工装数模、三维装配指令编制检验检测计划,确定检验特性及要求,用于装配制造阶段开展装配质量检验工作。

2.2 装配制造

装配制造阶段的工作主要分为两部分:装配准备和可视化装配现场执行。

装配准备阶段主要包括装配任务规划和车间物料准备,根据装配车间的人员配置情况、设备状况、材料状况、工作环境等制定装配任务,驱动现场装配工作的开展;根据 PBOM 分工路线,将子部件及零件交付至下一级装配车间,开展标准件、辅助物料等采购工作,并依据 MBOM 分派车间物料。可视化装配执行是通过装配现场可视化技术,将三维装配指令输入到可视化装配现场执行系统,实时监控装配过程,并对装配过程中实时采集的数据进行记录,生成的装配记录卡是表征装配进度和装配质量情况的依据。

2.3 装配信息交互流程

装配生产运转流程中各个环节既独立工作又相互协作。整个装配过程中应用系统之间的信息交互过程如图 2 所示。

PDM 主要用于管理与产品相关的信息和过程,为企业内应用系统的集成和数据传递提供必不可少的支撑环境。CAD 主要用于产品和工装的三维模型设计。DELMIA 提供集成产品、工艺和资源规划的解决方案,作为数字化工艺设计与仿真的应用系统;3D Composer 则作为三维 AO 编辑工具软件;DELMIA 与 3D Composer 集成作为 CAPP。ERP 用于控制和管理制造阶段的信息和过程。MES 用于管理可视化装配现场执行过程中的信息和过程。

3 装配数据集成模型

装配过程中大量信息需要在各应用系统间实现共享和交互,系统集成与数据集成是保证业务流和数据流

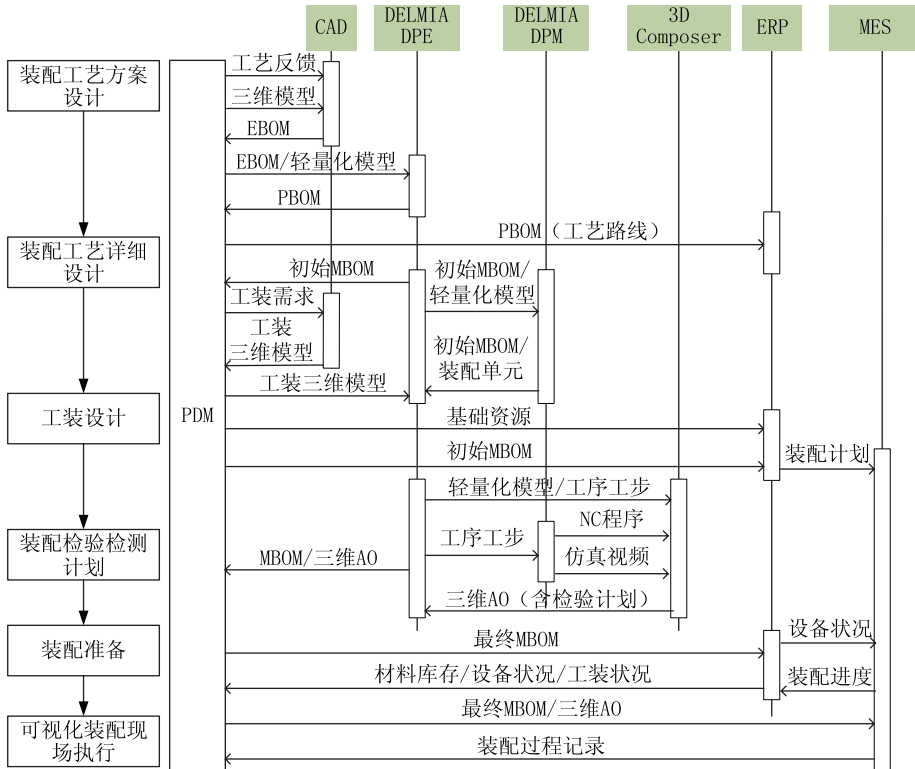


图2 装配数据交互过程图

Fig.2 Diagram of assembly data interaction process

在保证装配制造数据管理完整性、一致性以及配置性的基础上,采用UML表达以工艺为过程核心,关联其他装配数据的对象模型如图4所示。

该对象模型以装配工艺为核心,在传统PPR模型的基础上丰富检验检测信息,直观地表示了产品、资源、工艺、检验及它们之间的关系,建立工艺与产品物料之间的双关联关系,为保证数据传递一致性和数据实时有效性奠定了基础。同时,该对象模型为各应用系统提供了通用的数据模型,在虚拟数据库中可通过指针建立数据之间的关系,保证系统间的数据集成。

4 装配数据集成实现的关键技术

4.1 框架中系统之间的集成模式

现阶段以PDM为集成平台的集成模式包括封装模式、接口模

转的有效措施。

3.1 系统集成框架的建立

集成框架是指在异构、分布式计算机环境中能使企业内各类应用实现信息集成、功能集成和过程集成的软件系统^[8]。以PDM作为集成平台,将CAD、CAPP、ERP、MES等系统纳入PDM,实现企业内外信息的交换和共享,使得信息流动处于一种有序、可控的状态。该集成框架是以网络技术和数据库技术为支撑形成的,分为协同数据层、PDM集成框架层、应用层和用户层,如图3所示。其中,协同数据层将分布于各个应用系统数据库中的产品装配数据组织成一个逻辑上统一的单一产品数据源虚拟库,系统间以XML格式进行数据共享和交换,提供唯一的产品装配数据访问源^[9]。框架层中PDM既作为各系统的集成平台,为各个系统提供集成接口,又作为产品数据管理的应用系统完成文档管理、项目管理、结构配置管理等工作。

3.2 以工艺为过程核心的装配数据模型

建立装配数据模型的目标就是用统一的逻辑和结构形式对装配数据进行组织,以满足数据敏捷表达的需求。

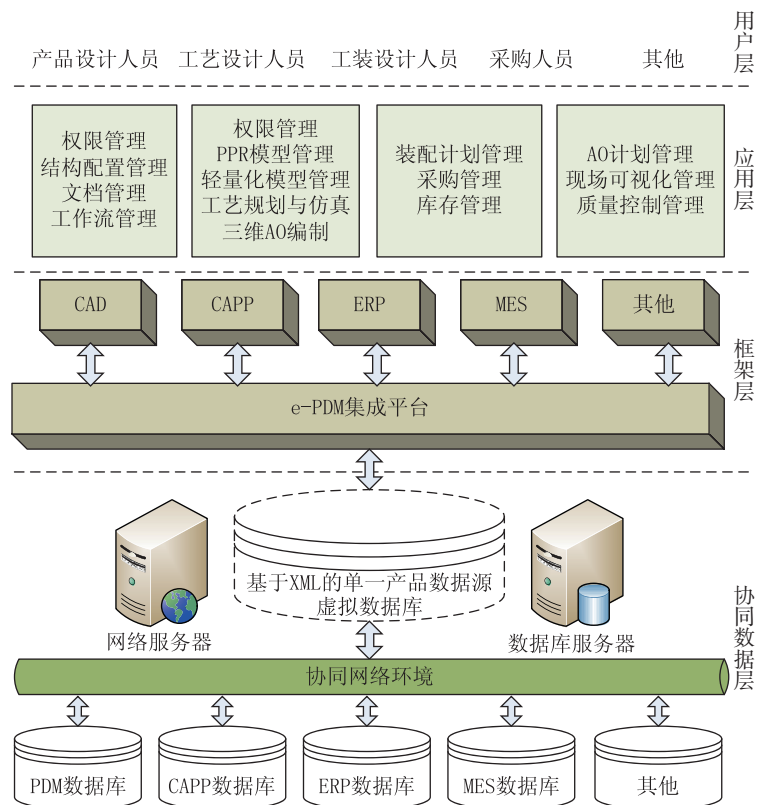


图3 基于PDM的系统集成框架

Fig.3 System integration framework based on PDM

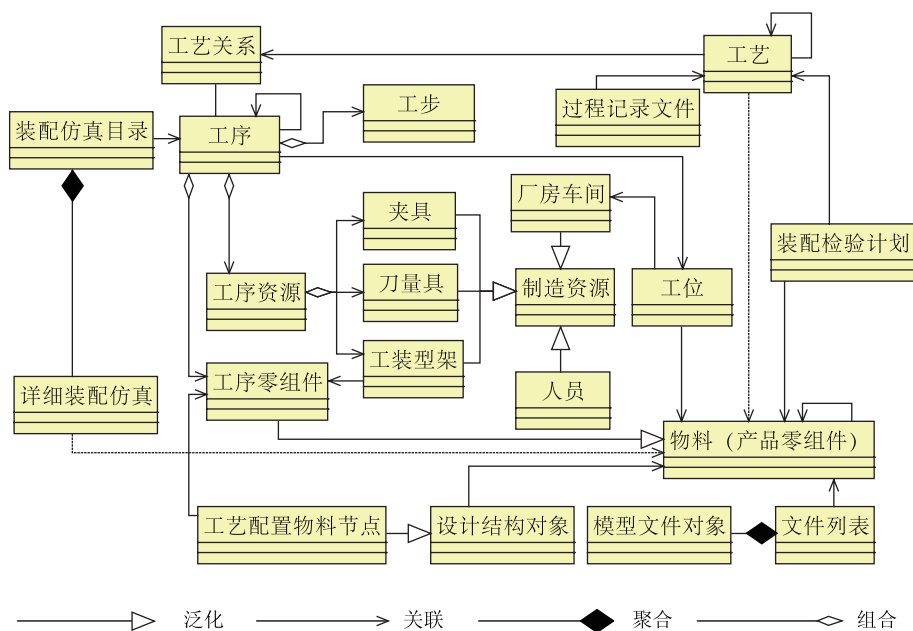


图4 装配数据对象模型
Fig.4 Assembly data object model

式、紧密集成、内部函数调用、直接数据库访问、中间文件交换、中间数据库等,根据数据类型、信息操作与存储方法,结合企业的管理流程及开发成本,选择最佳的集成模式。

(1) CAD 与 PDM 集成。

PDM 与 CAD 系统之间的信息集成采取接口的方式来实现, CAD 系统能将产品结构和零部件属性信息的变化反映到 PDM 系统中,保证两者数据一致。通过在 PDM 系统内开发接口,批量地将文件存储在 PDM 系统,读取零部件属性信息和装配关系,自动生成 BOM 结构树, BOM 节点与三维模型、文档等文件一一对应。

(2) CAPP 与 PDM 集成。

PDM 与 CAPP 系统之间的集成采用接口与紧密集成的混合集成模式。以 DELMIA 为核心的 CAPP 系统在 PLM 的架构上采用统一的 PPR-hub,用来存储和集成产品信息、工艺信息及资源信息,为产品装配各阶段的工艺人员使用一致、最新的数据并行协同作业提供了便利。同时, PPR-hub 向 CAD、PDM 等系统提供开放式的接口,可较好地实现系统间的集成,建立数字化装配全过程的业务流和信息流。DELMIA DPE 从 PDM 获取基于架次的 EBOM 和产品模型以及工装、设备等制造资源信息。同时, DPE 可将 BOM 文件编译成 XML/Excel 结构化格式,将 AO 以 XML 格式文件及 .jar 压缩包输出至 PDM 系统,在 PDM 中进行统一管理。3D Composer 作为编辑 AO 的应用工具封装在 DELMIA 中。

(3) ERP/MES 与 PDM 集成。

PDM 与 ERP/MES 系统之间采用中间数据库的集成模式。PDM 将 ERP/MES 系统所需的 BOM、资源、AO 等数据存储到中间数据库数据表,通过约定的方式通知 ERP,由 ERP 到中间库读取数据。ERP 与 MES 系统之间采用中间数据库集成模式,将 ERP 系统和 MES 系统中的需求数据转换成 XML 格式并存储在中间数据库中, ERP 和 MES 系统可以分别调用 XML 格式的文档,转换成系统可表达的格式,从而进行数据信息的交换,实现信息的集成。

4.2 基于 XML 的装配过程数据交互

在以 PDM 为核心的系统集成框架中,异构应用系统间按 SOAP 协议通过虚拟 XML 数据库

构建单一数据源,以可扩展标记语言(Extensible Markup Language, XML)统一描述数据信息,实现不同系统间装配数据的流动和有效共享,即基于 XML 的装配数据集成;通过 XML Schema 语言定义基于 XML 的数据交换格式和内容,集成双方建立统一的交互模型集成规范,定义装配数据在不同软件系统间交互的通用标记以及数据格式。遵循该规范的异构应用系统可以通过一致的接口进行动态的信息集成。系统之间信息交互的数据主要包括 BOM、三维模型、AO 3 类。

(1) BOM 数据交互。

BOM 是目前企业组织产品装配数据的重要形式,产品装配过程中产生的各类数据都可以组织在以 BOM 为核心的层次化结构树上。BOM 视图随着装配阶段的不同而改变,且在不同应用系统中的格式不同,通过 XML 中间格式解析 BOM 文件,可以保证各系统 BOM 数据的一致性,以下给出一个用 XML 实现的产品结构树例子。

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<MBOM>
<PARTS>
<PARTS_INFO name=" 零部件信息 ">
<PARTSNUMBER name=" 零部件号 ">AD_12-00-001</PARTSNUMBER>
<NAME name=" 零部件名称 "> 左侧机翼上前壁板
</NAME>
<DBS name=" 装配层次 ">5</DBS>
```

```
<DESIGNNUMBER name=" 等效设计号 "/>
<VERSIONNUMBER name=" 版本号 ">E</
VERSIONNUMBER>
<Effectivity name=" 有效性 "/>
<SingleAssNum name=" 单装数量 ">1</
SingleAssNum>
<ProcessAssNum name=" 工艺装配数量 ">1</
ProcessAssNum>
<Category name=" 零件类型 "> 装配件 </Category>
<Material name=" 材料编号 "/>
<MaterialSpec name=" 材料牌号 "/>
<FinalHeatTreatment name=" 热处理代码 ">N</
FinalHeatTreatment>
<KeyPartID name=" 重要件 / 关键件标识 ">N</
KeyPartID>
<SymPartID name=" 对称件 ">Y</SymPartID>
<SpecialProcessing name=" 特种检查代码 ">N</
SpecialProcessing>
<ROUTING name=" 工艺路线 ">11-15</ROUTING>
</PARTS_INFO>
<LINKER_OBJ name=" 关联零组件 ">
<DISIGNPARENT name=" 下一级设计装配件号 ">
<ID>AD_100000-000-001</ID>
<VERSIONNUMBER>E</VERSIONNUMBER>
</DISIGNPARENT>
<PROCESSPARENT name=" 下一级工艺装配件号 ">
<ID>AD_100000-000-001</ID>
<VERSIONNUMBER>E</VERSIONNUMBER>
</PROCESSPARENT>
<AO name="AO 号 ">AD_*****</AO>
</LINKER_OBJ>
</PARTS>
<PARTS> </PARTS>
</MBOM>
```

以 PDM 系统与 DELMIA 系统之间的 BOM 数据交换为例说明: DELMIA DPE 从 PDM 中得到 EBOM 和 sub-EBOM 设计属性, PDM 从 DELMIA 中得到 PBOM 和 MBOM, PDM 与 DELMIA 之间的数据传输通过 XML 格式的中间文件。PDM 中的 EBOM 数据更改会直接触发 DPE 中的对应节点自动更新, 保证数据的一致性。

(2) 三维模型数据交互。

为了提高网络发布和浏览的效率, 依据数字化装配过程中模型的用途, 将文件轻量化处理为 .stp/cgr/3dmax/.smg 等格式, 并以 3D XML 格式为中间文件进行系统之间数据传递。

(3) 工艺文档数据交互。

XML 支持工艺文件的结构化表示和存储。在 PDM 系统中建立工艺文件的结构化模板, 以结构化数据表示和存储工艺文件, 便于建立数据间的关联关系, 对保证数据之间的一致性具有重要意义。其中, 三维 AO 与二维工艺文件不同之处在于, 其包含了图片、视频、轻量化模型等以 smg 格式打包的信息。触发 AO 预览消息, 系统将自动以 XML 格式生成 AO 文件, 最终以 HTML 格式实现 AO 可视化预览。

系统之间交换的数据全部封装成 XML 格式, 通过各自的数据交换封装接口进行 XML 格式和内部数据的互相转换。

5 结束语

随着信息化的进一步发展, 装配型企业的信息集成将成为势在必行的发展趋势。本文通过基于 PLM 的企业应用系统集成, 把装配过程中的设计、工艺、生产制造各环节有机地结合, 通过建立统一的装配数据模型, 达到一定程度的信息共享和交换。由于系统的复杂性, 此方案还有一些方面如项目管理、服务安全性等需进一步深入探讨和研究。

参考文献

- [1] 刘明周, 刘正琼, 郭嘉, 等. 面向产品的企业数据数字化集成管理模式. 计算机辅助设计与图形学报, 2006, 18(1):137-142.
- [2] 熊谦. PLM 在大型制造企业的研究与应用 [D]. 成都: 电子科技大学, 2012.
- [3] 张国军, 黄刚. 数字化工厂技术的应用现状与趋势. 航空制造技术, 2012(8):34-37.
- [4] GOMEZ M, BAXTER D, ROY R, et al. Through-life integration using PLM-2009//Roy R, Brissaud D, Mehnen J. Proceedings of 19th CIRP design conference-competitive design. Bedfordshire: Cranfield University, 2009: 155.
- [5] Lee J Y, Kim GY, Noh S D. Integration Framework and PPR^{HI} Hub for DiFac. Digital Factory for Human-oriented Production System: The Integration of International Research Projects, London: Springer, 2011: 59-72.
- [6] Zhu W H, Han H, Fang M L, et al. Studies on visual scene process system of aircraft assembly. Journal of Manufacturing Systems, 2013, 32(4):580-597.
- [7] 杨玺. 基于单一产品数据源的飞机制造信息管理研究 [D]. 北京: 北京航空航天大学, 1999.
- [8] 孙家坤, 高崎, 杨超英, 等. CAD_CAPP_PDM_ERP 系统集成研究. 计算机工程与应用, 2005(29):226-228.
- [9] 张隽, 翟正军. 基于单一产品数据源的复杂产品设计制造协同技术研究. 微电子学与计算机, 2009, 26(3):228-231.

(责编 小城)