

基于共享信息描述模板的舱段装配工艺形式化表达与封装

张秀艳, 王禹森, 景迪, 白文广, 臧建新

首都航天机械有限公司, 北京

收稿日期: 2023年12月8日; 录用日期: 2024年3月5日; 发布日期: 2024年3月12日

摘要

航天产品装配过程的末端数据采集对异构信息系统的数据规范性和统一性提出了更高的要求。为实现基于协同共享平台的数据传递、共享、分析和控制, 需对装配过程中异构的过程数据、状态信息等进行标准化处理。本文结合典型运载器舱段装配过程, 建立基于“结构-任务”映射的信息封装结构, 并构建了面向不同产品层级的信息描述模板。面向过程信息的传递路径, 建立统一描述语言XML信息封装机制。最后, 通过典型舱段铆接装配工艺的描述验证了其有效性。

关键词

异构信息系统, 铆接装配工艺, 共享信息描述, 运载器舱段

Formal Expression and Packaging of Ship Section Assembly Process Based on Shared Information Description Template

Xiuyan Zhang, Yusen Wang, Di Jing, Wenguang Bai, Jianxin Zang

Capital Aerospace Machinery Corporation, Beijing

Received: Dec. 8th, 2023; accepted: Mar. 5th, 2024; published: Mar. 12th, 2024

Abstract

The collection of end data in the assembly process of aerospace products poses higher requirements for the standardization and uniformity of data in heterogeneous information systems. To achieve data transmission, sharing, analysis, and control based on collaborative sharing platforms,

it is necessary to standardize the heterogeneous process data and status information in the assembly process. This article combines the assembly process of typical carrier compartments to establish an information encapsulation structure based on “structure task” mapping, and constructs information description templates for different product levels. It establishes a unified description language XML information encapsulation mechanism for the transmission path of process information. Finally, its effectiveness was verified through the description of typical cabin section riveting assembly process.

Keywords

Heterogeneous Information Systems, Riveting Assembly Process, Shared Information Description, Carrier Compartment

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,为适应高密度交付形势和高质量、高可靠性发射要求,航天总装企业对产品全生命周期数据管理提出了迫切的需求。随着装配工艺的改进和制造过程组织模式的进一步优化,许多总装厂结合柔性装配生产线的构建,开展了末端数据采集方面的探索[1][2]。结合信息技术、物联网技术,采用先进的管理理念,以生产现场的生产制造、物流转运、出入库活动为核心,以精益生产思想为指导,以集成化的数字化信息平台为载体,整合工艺设计与管理、生产计划与调度、质量检测与控制、工装物料信息管理等多种平台,形成集生产任务接收与分解、协同工艺设计、动态排产、质量控制为一体的协同工作环境。航天产品的装配工艺复杂、涉及上下游关系众多,其生命周期涉及海量的过程信息描述与跨系统传递。

要实现企业对制造任务执行过程的跟踪和末端数据的采集,必须解决企业内部数量繁多、类型各异的信息系统的独立性、异构性问题,实现企业内部各种信息和数据的统一组织和管理,最终达成制造过程跟踪及制造信息的集成与共享。国内外很多学者对于数据交换的研究取得了稳步发展[3],杨剑等通过建立共享中心成功实现用户透明地访问数据[4],章义、黎峰设计了一种基于XML的数据处理方式[5]。此外,未来信息技术的发展为制造企业资源共享和协同化服务提供了技术支持,如孟彪提出以模块化对云资源进行重新组织,将资源按使用组成划分,在资源信息描述的基础上,完成资源的封装、注册及发布[6]。

本文在分析典型运载器舱段产品装配过程信息的基础上,构建共享信息描述模板,并采用标准化的描述语言进行封装,为建立统一的数据信息传递及协同环境,最终实现全生命周期装配过程数据共享奠定基础。

2. 基于“结构-任务”映射的共享信息描述模板构建

2.1. 多层次装配任务封装结构

对于以产品装配过程工序链组织来完成产品装配的企业来说,装配任务是以产品BOM结构为基本逻辑关系建立的。基于此前提,装配任务信息的共享也需要构建面向装配件BOM结构的映射。考虑到

运载器舱段产品的复杂性，有必要将装配任务分为产品级、部组件级、零件级和工序级，并对应形成不同颗粒度的信息描述模板。在继承产品结构关系的基础之上，增加装配过程的工艺规划管理、质量需求管理、进度管控、计划协调等任务信息。装配任务(Assembling Service Order, ASO)与产品 BOM 之间的映射关系如图 1 所示。

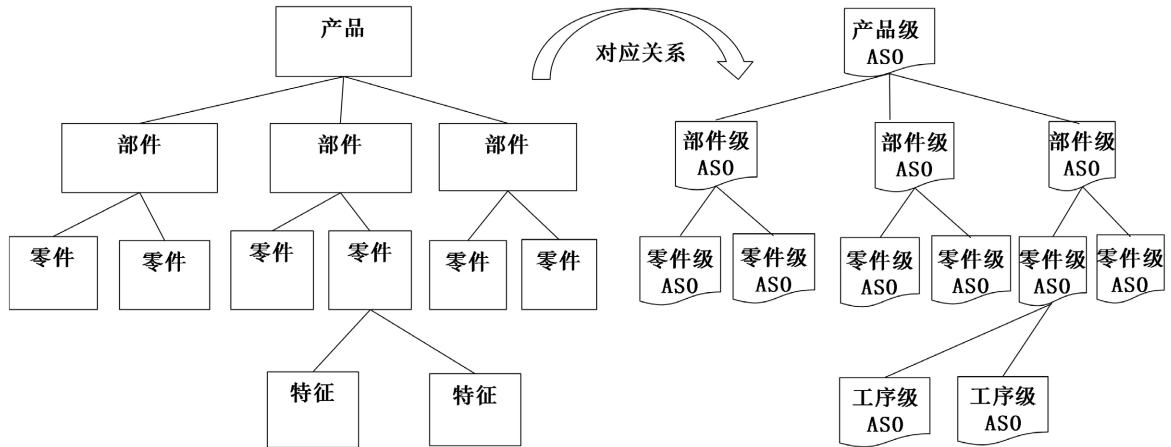


Figure 1. Mapping of product structure and tasks
图 1. 产品结构和任务的映射

在此基础上，建立基于产品 BOM 的多层次装配任务封装结构，其结构如图 2 所示。该结构涵盖任务节点、编号等基本信息、资源安排等任务排产信息、产品结构信息、测量检测等质量控制要求、装配过程管理信息、装配进度信息、产品及设备状态信息等部分，其中管理信息、质量控制要求信息是通用的类型定义。

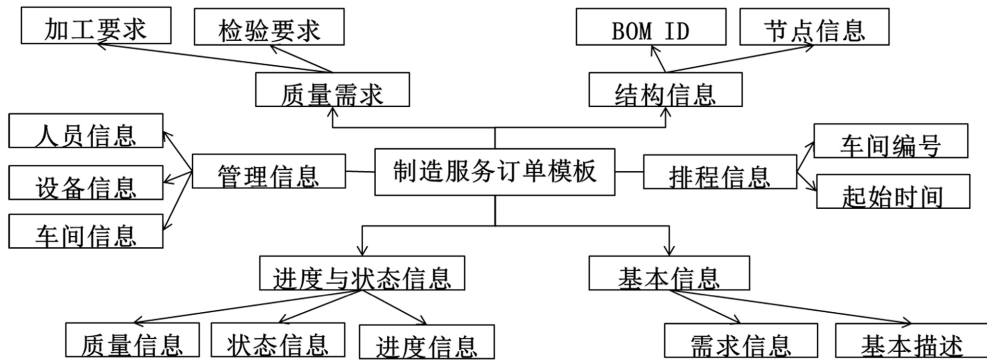


Figure 2. Multilevel assembly task encapsulation structure
图 2. 多层次装配任务封装结构

2.2. 共享信息描述模型的构建

为更直观地表述并共享装配过程信息，需对装配任务进行进一步的形式化描述。在前文定义的结构基础上，首先定义通用的类型。包括管理信息类型和质量控制要求类型。

1) 管理信息 *Management*: 此类信息涵盖与制造装配过程全生命周期相关的通用人力资源信息、机床设备信息、车间基础信息等，每个子项又包含不同级别及分类，如，机床设备信息不仅包含了自动化制孔、装配系统属性，也包含了制孔、装配过程中的刀具、末端执行机构的类型、特性和编号等。

$$\begin{cases} \text{Manage} = \{\{ \text{PersonalInfo} \}, \{ \text{EquipmentInfo} \}, \{ \text{PlantInfo} \} \} \\ \text{PersonalInfo} = \{ \text{PersonID}, \text{PersonName}, \dots, \text{Position} \} \\ \text{EquipmentInfo} = \{ \text{MachineID}, \text{MachineName}, \text{MachineType}, \dots, \text{ToolID}, \text{ToolType} \} \\ \text{PlantInfo} = \{ \text{PlantID}, \text{PlantLocation}, \text{PlantCapability}, \dots \} \end{cases} \quad (1)$$

2) 质量控制需求信息 *QualityRqr*: 是从结构设计端继承和制造工艺端总结的装配质量控制要求。例如, 按设计要求需要达到的装配件最终形位公差、性能指标等; 按工艺经验应该遵循的工艺参数等; 包含与装配质量控制要求对应的测量与检测结果是否合格、遵循何种等级、可靠性怎样等, 如下式所示:

$$\begin{cases} \text{QualityRqr} = \{\{ \text{ManuRqr} \}, \{ \text{CheckRqr} \} \} \\ \text{ManuRqr} = \{\{ \text{physiRqr} \}, \{ \text{GeomRqr} \}, \{ \text{ChemRqr} \} \} \\ \text{CheckRqr} = \{\{ \text{Item} \}, \{ \text{Level} \}, \dots \} \end{cases} \quad (2)$$

2.3. 多层次装配任务的形式化描述

在前文对通用数据类型进行分析和定义的基础上, 对各层次的装配任务进行形式化描述。按照产品 BOM 的映射关系, 在多层次装配任务描述模板中, 工序级的装配任务模板描述了最基础的信息单元, 是最底层的信息单元; 零部件级的装配任务模板由工序级的装配任务模板沿工序链向上汇总生成。该关系可采用集合论和关系代数的方法描述, 模型如下:

1) 工序级装配任务信息描述模板

工序级的装配任务模板可由一个四元素组表示:

$$\text{MSO}^{(Pr)} = \{\{ \text{Basic}^{Pr} \}, \{ \text{Structure}^{Pr} \}, \{ \text{Schedule}^{Pr} \}, \{ \text{Progress}^{Pr} \} \} \quad (3)$$

式中: $\text{Basic}^{(Pr)}$ ——表示基本工序信息, 包含了装配工序任务的编码、作业内容、产品批次、产品批量、交货节点和下游单位等信息, 其子项如下式所示:

$$\text{Basic}^{(Pr)} = \{ \text{ID}, \text{Name}, \text{Description}, \text{Batch}, \dots, \text{DueDate}, \dots, \text{Customer} \} \quad (4)$$

$\text{Structure}^{(Pr)}$ ——表示工序结构信息, 继承自装配件结构 BOM 的属性, 包括装配工序任务的编码、结构件的 BOM 编号、父节点编号、子节点编号及子节点批量。在产品全生命周期要素管控过程中, 这些信息为装配任务的溯源提供索引, 如下所示:

$$\text{Structure}^{(Pr)} = \{ \text{BOMID}, \text{FatherID}, \text{ChildID}, \text{ChildAmount} \} \quad (5)$$

$\text{Schedule}^{(Pr)}$ ——工序的排产信息, 包含了装配服务的全生命周期规划信息, 包括装配件批次信息以及制造车间资源排产信息等, 其子项如下式所示:

$$\text{Schedule}^{(Pr)} = \{ \text{PlantID}, \text{MachineID}, \text{ToolID}, \text{StartTime}, \text{EndTime} \} \quad (6)$$

$\text{Progress}^{(Pr)}$ ——表示工序的进度及状态信息, 描述装配任务按计划执行情况和装配件状态信息, 它包含了实际开工时间、装配状态信息和实际装配进度等, 此类信息具有动态变化的属性。

$$\begin{cases} \text{Progress}^{(Pr)} = \{ \text{ProgressRate}^{(Pr)}, \text{Qualitycheck} \} \\ \text{ProgressRate}^{(Pr)} = \{ \text{ActualStartTime}, \text{Status}, \text{Completion} \} \\ \text{Qualitycheck} = \{ \text{ItemID}, \text{checkResult}, \text{RateOfQuality} \} \end{cases} \quad (7)$$

2) 零件级装配任务信息描述模板

在对工序级装配任务的描述基础上，基于结构隶属关系，对零件级装配任务描述模型定义如下：

$$MSO^{(P_i)} = \left\{ \left\{ Basic^{(P_i)} \right\}, \left\{ Structure^{(P_i)} \right\}, \left\{ Schedule^{(P_i)} \right\}, \left\{ Progress^{(P_i)} \right\} \right\} \quad (8)$$

同理，本式中基本属性信息 $Basic^{(P_i)}$ 和结构特征信息 $Structure^{(P_i)}$ 的内涵与工序级装配任务描述逻辑一致。不同的是，零件级模型的排产信息 $Schedule^{(P_i)}$ ，装配进度信息 $Progress^{(P_i)}$ 集成和汇总了下级工序的排产信息 $Schedule^{(P_{ri})}$ ，装配进度信息的 $Progress^{(P_{ri})}$ 。表述如下：

$$\begin{cases} Schedule^{(P_i)} = \bigcup_{i \in A} Schedule^{(P_{ri})} \\ Progress^{(P_i)} = \bigcup_{i \in A} Progress^{(P_{ri})} \end{cases} \quad (9)$$

式中： A ——零组件装配过程的工序集合；

按此逻辑，零组件(如壁板组件)及以上级的装配任务描述方式可依次向上汇总和集成，最终形成产品级装配任务描述模板。

3. 装配过程信息的语义描述与封装

为了最终实现全生命周期追踪和末端数据采集，必须满足装配过程信息基于网络的传播，这就需要依靠数字化语言对其进行处理及描述。XML 语言是在 HTML 语言的基础上衍生的标记语言，其具有规范统一的特性，且能够以纯文本存储，使其在异构信息系统中异构信息的解析方面具有特殊的优势；此外，其可扩展特性为用户基于不同产品属性制定不同结构的描述模板语言提供了便利。因此，本文选取 XML 语言建立装配任务的数字化描述模型，已实现任务的封装。

以简单的 XML schema 为实例，建立装配任务的描述模板，如图 3 所示：

```

<xs:element name="ASO">
  <xs:annotation>
    <xs:documentation>装配任务描述模板</xs:documentation>
  </xs:annotation>
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element name="Basic">
        <xs:complexType>
          <xs:sequence>
            <xs:element name="ID" type="xs:string"/>
            <xs:element name="NAME"/>
            <xs:element name="Description" type="xs:string"/>
            <xs:element name="Batch" type="xs:string"/>
            <xs:element name="DueDate" type="xs:dateTime"/>
            <xs:element name="Customer" type="xs:string"/>
            <xs:element name="Material" type="xs:string"/>
          </xs:sequence>
        </xs:complexType>
      </xs:element>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>

```

Figure 3. Assembly task description

图 3. 装配任务描述

基于该 XML schema 结构,对装配任务内容进行描述。以某型运载器舱段的装配过程为例说明其构建过程。如图 4 所示,舱段的装配任务采用四部分要素进行描述,分别为舱段原材料、装配周期等基本信息,前序任务、后续任务等结构信息,人力资源安排、制造资源安排等排产信息,以及加工进度、产品状态等进度信息。每部分元素按产品直至工序顺次分解,实现了全生命周期状态的全要素描述和监控。

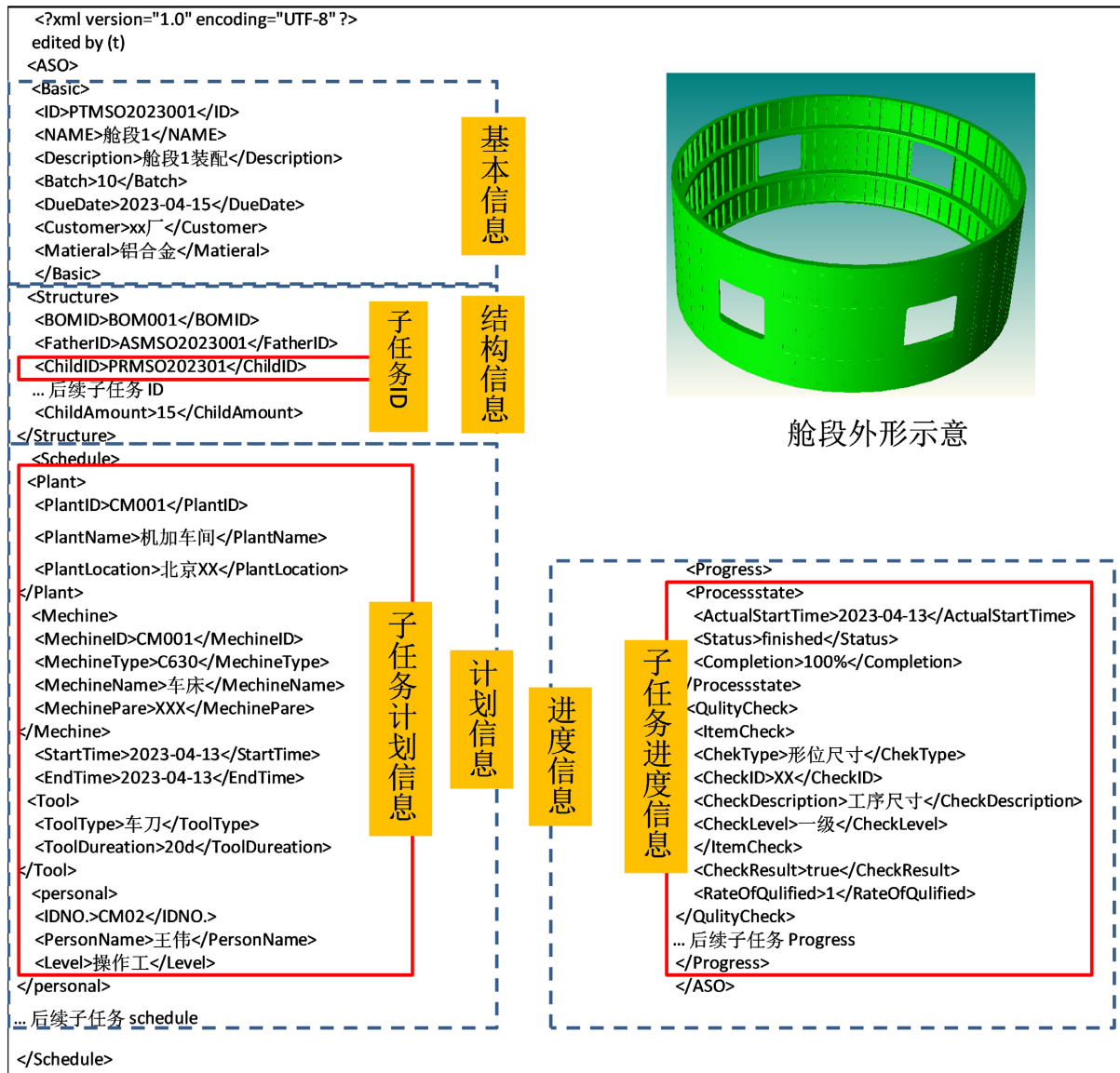


Figure 4. Assembly of cabin section products

图 4. 舱段产品装配

4. 结论

本文为实现舱段装配过程末端数据采集和全生命周期管理,在分析运载器舱段产品铆接装配工艺的基础之上,基于产品属性,面向装配任务沿工序链组织的执行过程,逐次建立了多层次装配信息描述模型,涵盖了产品级、部件级、零件级和工序级;基于语义描述模板,建立了装配任务的描述范式,并通过 XML 语言对描述模板进行封装,使其具有网络传播及共享特性。最后,通过典型舱段的装配任务过

程数据描述, 验证了其作为共享交换数据标准的可行性。XML 语言作为重要的数据共享及交换工具, 与装配过程相结合, 使基于统一信息共享平台的智能化制造和协同装配成为了可能。

参考文献

- [1] 檀甜甜, 孙立强, 张小亮. 运载火箭筒体壳段数字化柔性铆接装配生产线构建技术研究[J]. 机械工程技术, 2018, 7(4): 260-266.
- [2] 刘炜, 刘峰, 倪阳咏, 白雪, 李霏. 航天复杂产品智能化装配技术应用研究[J]. 宇航总体技术, 2018(1): 33-37.
- [3] 田华明, 罗紫倩, 乔晨曦. 基于 XML 的网络制造数据交换研究与分析[J]. 标准技术, 2020(3): 190-191.
- [4] 杨剑, 唐慧佳. 基于 XML 的异构数据交换系统的研究与实现[J]. 计算机工程, 2011, 31(19): 195-197.
- [5] 章义, 黎峰. 基于 XML 的数据库存储访问技术[J]. 计算机工程与设计, 2014, 26(1): 208.
- [6] 孟飙, 吴兴杰, 陈俊辉. 云制造资源服务化封装与服务发现研究[J]. 航空制造技术, 2016, 59(4): 89-94.