

基于XML的航天产品总装工艺信息交互技术研究

黄海金¹ 邱凯¹ 俞劲松¹ 季焱¹ 孙晓凤^{1,2}

(1. 上海航天精密机械研究所, 上海 201600; 2. 东华大学, 上海 201620)



摘要: 针对航天产品总装工艺信息在异构系统间交互的障碍, 提出了基于XML的航天产品总装工艺信息交互框架, 重点研究了应用MDA描述航天产品总装工艺信息, 并建立基于XML Schema的航天产品总装工艺数据模型, 讨论了数据模型接口的任务流程。通过CAPP与DAPDS的总装工艺信息交互实例, 验证了提出的航天产品总装工艺信息交互方案的可行性。

关键词: XML Schema; 数据模型; 总装工艺; 模型驱动架构

Research on XML-based Assembly Process Information Exchange of Aerospace Products

Huang Haijin¹ Qiu Kai¹ Yu Jinsong¹ Ji Han¹ Sun XiaoFeng^{1,2}

(1. Research Institute of Shanghai Spaceflight Precision Mechanism, Shanghai 201600;

2. Donghua University, Shanghai 201620)

Abstract: To the assembly process information alternating obstruction between different structure system in aerospace products, this paper suggests the assembly process information frame of aerospace products based on XML, and main researched the description on assembly process information of aerospace products apply on MDA, established the model of assembly process in aerospace products on the basis of XML Schema and determined the work process of interface on data model. It verified that the feasibility of assembly process information alternating program by the example of assembly process information alternating between CAPP and DAPDS.

Key words: XML Schema; data model; assembly process; MDA

1 引言

随着集成技术、网络技术、CAD/CAE/CAM技术的发展, 在制造业, 从设计到加工已经基本实现无纸化。但在装配环节, 很大程度上都依赖装配人员本身的经验、技巧和感觉来进行复杂的操作, 因此产品装配的质量、效率和一致性会因装配人员之间的熟练程度、身体情况、精神状态而出现较大的差异。在航天产品的制造中, 航天产品的成败不仅关系到产品型号本身, 更影响到后续型号和企业的发展。总装作为航天产品生产过程的最后一个环节, 为保证航天产品的

零缺陷, 仅仅从车间规章制度、教育培训、后勤保障等方面提高操作人员的质量意识和素质水平是远远不够的, 更重要的是要通过总装工艺的精细化来科学规划装配序列、规范操作动作及定量装配指标。

当前航天产品总装工艺的编制还普遍采用二维CAPP系统, 为解决总装工艺缺乏三维可视化过程、直观性差、文字描述不清楚等问题, 前期试用了上海交通大学开发的以产品数字样机平台(Digital Mockup Simulation Platform, DMSP)为基础, 面向航天型号产品总装的数字化三维总装工艺设计系统(Digital Assembly Process Design System, DAPDS)。但由于

作者简介: 黄海金(1986-), 硕士, 机械设计及理论专业; 研究方向: 产品总装工艺及信息化等。

收稿日期: 2013-03-12

DAPDS 在工艺信息编辑、流程审批等方面功能有限, 同时与 CAPP 数据库、数据结构的差异性使系统不能有效利用 CAPP 系统的知识积累, 因此 DAPDS 在实际使用上有一定的局限性。为实现 DAPDS 和 CAPP 系统的优势互补, 本文主要研究在模型驱动体系结构 (MDA) 下的基于 XML^[1] (The eXtensible Markup Language, 可扩展标识语言) 的航天产品总装工艺信息交互技术^[2], 实现了把 CAPP 的总装工艺信息进行抽取、转换成结构标准、通用的信息, 并无缝集成至 DAPDS 等信息化系统中, 使总装工艺信息能够在不同系统环境实现高效交换和集成。

2 XML 技术

XML^[3,4,5] 为 W3C 开发的一种采用文本标记描述数据的结构化组织文档方法, 是标准通用标记语言 SGML (Standard Generalized Markup Language) 的一个子集, 现已成为 WWW 定义和共享数据的一种通用标准。

XML 作为一种可以用来定义其它语言的语法系统, 是标记和内容的组合, 被设计用无格式文本来描述数据信息, 其焦点是数据的内容。用户可根据自身需求创建符合规范的个性化标记来描述文档中的数据元素及其涵义, 利用简单的嵌套和引用来实现数据元素之间的关系。

XML 现已成为最流行的数据交换格式之一, 其优势主要有:

a. 可扩展性。用户可自定义和使用具有意义的标记, 数据结构层次清晰, 适用于描述结构化的信息, 具有良好的可扩展性。

b. 数据独立性。XML 采用无格式文本流描述数据信息, 而非专用的二进制文件, 因此 XML 完全独立于操作系统、软件平台、编程语言和传输协议。

c. 规范性。XML 遵循严格的语法要求, 采用文档类型定义 (DTD) 或架构 (Schema) 规定的关于标记符号的语法、语义规则约束 XML 文档, 准确地描述数据信息的内容、结构和关系。

d. 自描述性。XML 的自描述性使其非常适合用于异构应用间的数据交换, 而且这种交换不以预先规定的数据结构定义为前提, 具备很强的开放性、可移植性和互操作性。

e. 内容与形式分离。XML 的数据内容和显示数

据的格式是分离的, 不涉及文档如何显示, 只表示文档的结构, 可快速实施精确地查询与模型抽取。

3 基于 XML 的航天产品总装工艺数据交互框架

数据交互是指在原有网络环境和信息化系统的基础上, 通过统一数据形式、结构使异构数据库应用系统 (如: CAPP 系统与 DAPDS 系统) 能够进行数据信息的共享。基于 XML 的数据交互将 XML 技术用于数据交互, 克服了传统 EDI 等数据交换技术的格式不灵活、可扩展性差、交互性差等缺点。

基于 XML 的航天产品总装工艺数据交互框架如图 1 所示, 底层是 Intranet 网络、数据库环境, 为异构数据库中的数据信息提供通讯与数据管理手段。基于 XML 的总装工艺数据模型接口为整个系统架构的核心, 是一套轻量级的数据整合解决方案, 可以自动完成总装工艺信息的抽取和转化。根据总装工艺数据模型, 可生成和解析 Intranet 网络上 DAPDS 等系统都兼容的总装工艺实例文档, 实现异构系统间总装工艺信息交互的基础。应用层是 Intranet 网络上的各应用系统, 通过加载总装工艺实例文档的解析数据, 导入所需的航天产品总装工艺信息, 完成异构数据库应用系统的数据交换。

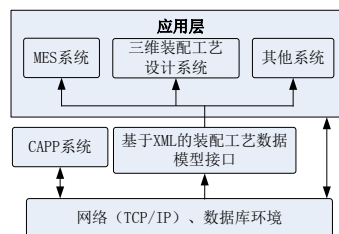


图 1 基于 XML 的总装工艺数据交互框架

4 基于 XML 的航天产品总装工艺信息描述

为使航天产品总装工艺信息具有高度的数据独立性、规范性、数据兼容性和可扩展性, 本文应用三层 MDA 元模型框架表达航天产品总装工艺信息, 如图 2 所示。M2 层定义了 XML 模式文档的格式, 为 M1 层提供定义模式的词汇表; M1 层定义了航天产品总装工艺的平台无关数据模型, 规定了总装工艺信息在异构系统中交换的标准数据; M0 层是符合 M1 层创建的航天产品总装工艺数据模型的 XML 实例文件, 该文件存储了航天产品总装工艺的具体数据。

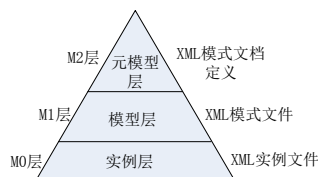


图2 航天产品总装工艺信息描述框架

4.1 航天产品总装工艺数据模型

航天产品总装工艺数据模型是描述航天产品总装工艺信息的关键，总装工艺数据包括产品型号信息、工艺文件信息、总装工艺信息三类。产品型号信息主要包括产品类型、产品型号、阶段和批次等信息；工艺文件信息包括工艺文件ID、文件编号、名称、所属零件图号、工艺版本号、工艺状态及审批流程等信息；总装工艺信息是整个工艺数据模型的主体，包括装配要求信息和工序信息两大类。装配要求信息主要是该工艺在产品装配时对操作人员、场地温湿度、厂房洁净度、产品转运、火工品装配等需要特别注意的事项或装配条件做了规定，以满足某些产品装配时的特殊要求；工序信息是指导操作人员装配产品的依据，包括工序号、工序名称、工序说明和工步信息。其中工步信息主要是在本工序中根据装配操作对象的不同划分，包括工步号、工步名称、工步内容、注意事项、检验点、所需的仪器设备和工艺装备等信息。

航天产品总装工艺数据模型采用树形结构表示各数据节点的父子关系和并列关系，运用面向对象的模块化思想将复杂的信息分解为相对独立的数据节点，模型结构见图3。此方法能够全面、清晰地描述航天产品总装工艺所包含的各类信息，同时使数据模型具有良好的扩展性、继承性和可读性，可对数据模型的结构进行升级配置，具有一定的通用性和先进性。

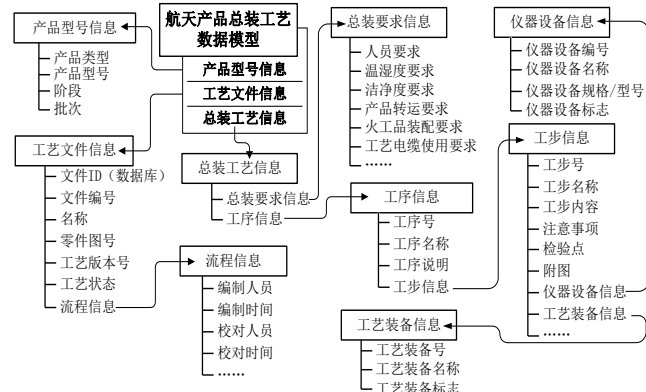


图3 航天产品总装工艺数据模型结构

4.2 基于XML的航天产品总装工艺数据模型表达

定义XML的模式包括DTD（Document Type Definition）和XML Schema^[6]。由于DTD自身的语法及文档格式不同于XML，仅对属性类型定义了几种非常有限的数据类型，内容模型固定且不可扩展，所以存在明显的局限性。XML Schema是W3C推荐的XML标准模式，它在DTD的基础上进行改进和扩充，将DTD重新使用XML语言规范来定义，以更高的精度描述XML数据，可以通过对元素及元素关系的定义来实现对整个文档结构和内容的定义。因此，选用W3C XML Schema作为航天产品总装工艺信息描述框架的M2层。

根据XML语法规则^[6]，创建航天产品总装工艺数据模型的XML模式文档（见图4），由数据模型根节点项展开，将其映射为元素（element），其子项分别映射为相应的子元素或属性。在表达数据模型各节点时，用name属性描述元素名称，用complexType或Type属性描述元素类型，用maxOccurs和minOccurs来限制元素的出现次数。

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<xs:element name="航天产品总装工艺">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="产品型号信息" />
      <xs:element ref="工艺文件信息" />
      <xs:element ref="总装工艺信息" />
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="产品型号信息">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element name="产品类型" type="xs:string" />
      <xs:element name="产品型号" type="xs:string" />
      <xs:element name="阶段" type="xs:string" />
      <xs:element name="批次" type="xs:string" />
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="工艺文件信息">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:attribute name="文件ID" type="xs:string" use="required" />
      <xs:element name="文件编号" type="xs:string" />
      <xs:element name="名称" type="xs:string" />
      <xs:element name="零件图号" type="xs:string" />
      <xs:element name="工艺版本号" type="xs:string" />
      <xs:element name="工艺状态" type="xs:string" />
      <xs:element ref="流程信息" />
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="总装工艺信息">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="总装要求信息" />
      <xs:element ref="工序信息" minOccurs="1" maxOccurs="unbounded" />
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="流程信息">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element name="编制人员" type="xs:string" />
      <xs:element name="编制时间" type="xs:date" />
      <xs:element name="审核人员" type="xs:string" />
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="总装要求信息">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element name="人员要求" type="xs:string" />
      <xs:element name="温湿度要求" type="xs:string" />
      <xs:element name="洁净度要求" type="xs:string" />
      <xs:element name="产品转运要求" type="xs:string" />
      <xs:element name="火工品装配要求" type="xs:string" />
      <xs:element name="工艺电缆使用要求" type="xs:string" />
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="工序信息">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element name="工序号" type="xs:string" />
      <xs:element name="工序名称" type="xs:string" />
      <xs:element name="工序说明" type="xs:string" />
      <xs:element ref="工步信息" />
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="工步信息">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element name="工步号" type="xs:string" />
      <xs:element name="工步名称" type="xs:string" />
      <xs:element name="工步内容" type="xs:string" />
      <xs:element name="注意事项" type="xs:string" />
      <xs:element name="检验点" type="xs:string" />
      <xs:element name="附图" type="xs:string" />
      <xs:element name="仪器装备信息" type="xs:string" />
      <xs:element name="工艺装备信息" type="xs:string" />
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="仪器装备信息">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element name="仪器装备编号" type="xs:string" />
      <xs:element name="仪器装备名称" type="xs:string" />
      <xs:element name="仪器装备规格/型号" type="xs:string" />
      <xs:element name="仪器装备标志" type="xs:string" />
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="工艺装备信息">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element name="工艺装备编号" type="xs:string" />
      <xs:element name="工艺装备名称" type="xs:string" />
      <xs:element name="工艺装备标志" type="xs:string" />
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
```

图4 航天产品总装工艺数据模型XML模式文档（局部）

5 航天产品总装工艺数据模型接口的任务流程

航天产品总装工艺数据模型接口是解决异构系统间信息交互障碍的关键，其主要功能是从源数据库中抽取数据，输出兼容的航天产品总装工艺数据^[7]。接口的任务流程如图 5 所示，主要分为：a.在连接源数据库后，接到工艺信息交互请求，根据数据抽取 SQL 文件自动对源数据库中总装工艺的各项数据进行抽取，形成原始数据池；b.根据数据转换条件 RE 文件，对抽取的原始数据进行清洗、拆分和集成，生成中间数据池；c.根据总装工艺数据模型 XSD 文件，采用 DOM 技术将中间数据转换成标准的总装工艺 XML 实例文件；d.在接收端获取 XML 实例文件后，根据总装工艺数据模型 XSD 文件对标准的总装工艺 XML 实例文件进行验证、解析；e.根据与输出的目标数据库对应的数据交换规则文件，将已解析的总装工艺信息加载集成到目标系统中。

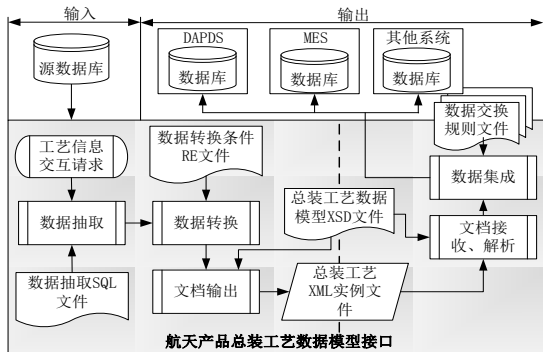


图 5 航天产品总装工艺数据模型接口的任务流程

6 应用实例

在航天产品总装工艺信息描述框架下，通过航天产品总装工艺数据模型接口，给出 CAPP 与 DAPDS 两个系统间某型号航天产品总装工艺信息的交互实例。

根据航天产品总装工艺数据模型接口任务流程，首先根据航天产品总装工艺数据模型，从 CAPP 源数据库中生成某型号航天产品总装工艺 XML 实例文档，DAPDS 载入该 XML 实例文档，实现集成某型号航天产品总装工艺信息，总装工艺人员在总装工艺信息的基础上完成某型号产品总装的三维模型配置、装配仿真等任务，最后装配人员通过数字化三维装配工艺指导系统可以在工位学习和查看集二维工艺、三维

模型、装配仿真动画等信息于一体的可视化总装工艺。图 6 为航天产品总装工艺信息的 XML 实例文档（限于篇幅，只截取局部文档），图 7 为通过 XML 实例文件集成至 DAPDS 的航天产品总装工艺信息，图 8 是与 DAPDS 中航天产品总装工艺信息相关联的三维装配工艺指导实例。

```
<?xml version="1.0" encoding="gb2312" ?>
- <航天产品总装工艺>
+ <产品型号信息>
- <工艺文件信息 文件ID="10001548">
  <文件编号>Pb/XXX-0000-00-ZW-EE</文件编号>
  <名称>XX-XX总装工艺规程(测试)</名称>
  <零件图号>XXX-0000-00-ZW</零件图号>
  <工艺版本号>2</工艺版本号>
  <工艺状态>完版</工艺状态>
+ <流程信息>
- <工艺文件信息>
- <总装工艺信息>
- <总装要求信息>
  <人员要求>1) 本工艺未经特殊说明各岗均为双岗制，双岗人员到齐后方可操作；2) 总装人员必须经过安全培训，经考核合格持证上岗；3) 作业前必须正确穿戴防静电工作服、工作鞋，并佩带可靠接地的防静电手环。</人员要求>
  <温湿度要求>总装厂房内温度要求在25℃±10℃，相对湿度要求在20%-70%。</温湿度要求>
  <洁净度要求>无</洁净度要求>
  <产品转运要求>按一般转运要求。</产品转运要求>
  <火工品装配要求>无。</火工品装配要求>
  <工艺电缆使用要求>工艺电缆与产品电连接器连接前，应先检查工艺电缆的电连接器，若有插针（孔）锈蚀、插针弯曲、屏蔽断裂等损坏现象，则不能使用；工艺电缆累计贮存和使用时间超过规定年限者应进行复验，其电连接器累计插拔次数超过限制次数，应进行更换。</工艺电缆使用要求>
</总装要求信息>
- <工序信息 工序号="10">
  <工序名称>配套</工序名称>
  <工序说明>配套</工序说明>
+ <工步信息 工步号="1">
- <工步信息 工步号="2">
  <工步名称>检查</工步名称>
  <工步内容>对配套产品和标准件进行外观检查和清理；对于配套产品，局部细节需采用专用放大镜检查；对气路相关的零件采用超声波清洗机进行清洗，清洗溶剂采用无水酒精，清洗三次每次3min。</工步内容>
  <注意事项>接收的所有配套产品和标准件应有合格证明文件，外观无划伤、变形等现象。</注意事项>
  <检验点>所有配套件都应有合格证明文件，外观整洁无损伤，填写《表1产品配套表》。</检验点>
  <附图 />
- <仪器设备信息>
  <仪器设备编号>7908990056</仪器设备编号>
  <仪器设备名称>超声波清洗机</仪器设备名称>
  <仪器设备规格型号>B2800Q-MT</仪器设备规格型号>
  <仪器设备标志>T</仪器设备标志>
  <仪器设备信息>
- <工艺装备信息 工艺装备号="Pb347/XX01026">
  <工艺装备名称>专用放大镜</工艺装备名称>
  <工艺装备标志>Z</工艺装备标志>
  </工艺装备信息>
</工步信息>
```

图 6 航天产品总装工艺信息的 XML 实例文档（局部）



图 7 集成至 DAPDS 的总装工艺信息

（下转第 66 页）

