

基于 PLM 的航天器产品数控编程管理研究与实现

北京卫星制造厂 郑立彦 林小青 钟振宇 王小丹

摘要 本文通过分析航天器产品数控编程过程的现状及特点,对基于 Teamcenter 2007 与 UG NX4 的集成环境下,航天器产品数控编程过程中的产品数据、工艺数据、编程过程的管理方案进行了研究,并在实际生产中进行应用实践,为航天器产品数控编程质量与效率的提高提供了参考与借鉴。

关键词 PLM; 数控编程; 管理

引言

随着信息化技术的不断发展及深入应用,CAD/CAM/CAE/CAPP 等数字化单项技术已经在卫星、飞船等航天器产品的研制过程中得到普遍应用,有效地支撑了产品的设计、制造、性能优化、仿真分析等工作。数控加工是航天器产品制造的重要手段,数控编程技术是数控加工中的关键环节,也是 CAD/CAM/CAPP 等数字化技术最能明显发挥效益的环节之一^[1],传统的航天器产品数控编程过程由于缺乏统一的数据集成管理平台,使所涉及的数字化单项技术的应用处于单点、局部的状态,衍生的技术文件分散在不同的计算机或信息系统中,产生信息孤岛,不能形成对数控编程过程规范、有效的管理,进而无法满足航天器产品对于产品质量与效率的较高要求。

PLM(Product Lifecycle Management, 产品全生命周期管理)将各个 CAX 信息化孤岛集成起来,利用计算机系统控制整个产品的研制过程,通过逐步建立虚拟的产品模型,最终形成完整的产品描述、生产过程描述及过程控制数据^[2]。数控编程作为航天器产品研制过程中的一个环节,基于 PLM 系统的数控编程工作的开展不仅能够使这一环节的数据与过程进行有效管理及规范控制,同时为其下游环节工作的开展奠定了基础。本文基于航天器产品数控加工的现状与特点,对基于 Teamcenter 2007 系统的数控编程管理进行了探索研究与应用实践。

1 传统数控编程管理现状分析

数控编程工作包含加工几何模型建立、走刀路线规划、刀位轨迹处理等一系列工作,衍生几何模型、数控程序等大量技术文件。传统的航天器产品数控编程过程由于缺乏统一的数据集成管理平台,加工模型、数控程序的创建与编辑由编程人员基于计算机本地环境进行,衍生的技术文件被手动上传至 PDM 系统进行审批管理。由于数控编程是一个动态、连续的过程,技术文件在编程过程中会不断地被修改,传统的 PDM 系统虽然具备一定的文件管理功能,但由于仅仅是对结果的记载,无法对文件的生成过程形成有效的记录,且文件之间的关联性较差,容易形成信息孤岛,为技术文件在下游环节的应用带了一定的阻碍;同时由于航天器产品的制造具有单件小批量、技术难度大等特点,随着型号任务的不断增加衍生的技术文件数量巨大,基于计算机本地环境下用户目录管理的方式使文件处于多状态交织的状态,严重阻碍编程效率与质量的提高。

2 解决方案规划与实现

Teamcenter 2007 是完全建立在面向服务架构基础上实现单一平台架构的 PLM 系统,具有单一的平台和单一的数据模型^[3],对制造过程的管理是其向下游制造延伸的最集中体现,可实现对数据、资源、过程等整套制造数据的管理。Teamcenter2007 通过与编程软件的紧密集成成为数控编程搭建有效的管理环境。

2.1 系统集成与客户化配置

2.1.1 集成环境搭建

航天器产品数控编程采用的编程软件为 UG NX4, 其对 Teamcenter 2007 具有良好的开放性, 两者通过集成工具 NX Manager 实现紧密集成。NX Manager 是 Teamcenter 2007 的一个封装装置, 因此集成环境的搭建通过将 NX Manager 作为一个功能部件进行安装的方式实现。集成环境下 NX Manager 直接工作于 Teamcenter 2007 的电子仓库, 将文件实体存放在卷内, 相关信息存放在数据库内, 通过集合 UG NX4 的模型文件创建能力与 Teamcenter 2007 对文件的管控能力实现对数据文件的紧密集成及有效组织管理。

2.1.2 客户化配置

集成环境搭建后应根据航天器产品数控编程业务的实际情况对集成环境进行客户化配置, 主要包括编程模板文件集成、数据对象属性表单定制、数控程序文本格式扩充、后置处理改造, 可通过 Teamcenter 2007 的批处理命令、客户化业务建模器工具(Business Modeler Integrated Development Environment, BMIDE)等多种渠道实现。

1) 编程模板文件集成

航天器产品中的大量零件具有部分相同或相似的典型特征结构, 可划分为壁板类、壳体类、环柱类等多个类型, 同类零件在数控程序编制的方法上具有相同性或相似性。加工模板是包含预定义的加工参数和加工对象组的 UG NX4 内部文件, 通过制定模板文件可使同类零件的编程经验得以固化并能减少多次定义参数的重复劳动。在集成环境下, 将模板文件作为 UGmaster 数据集文件手工导入 Teamcenter 2007 的模板文件“CAM_Setup_Templates”中, 或通过系统的批处理命令“Upgrade_nx_cam_templates -u=用户 ID -p=用户口令 -g=组”实现模板文件在集成环境下的应用。

2) 数据对象表单定制

集成环境下的数控编程业务涉及多种数据对象, 每种数据对象具有各自的属性, 往往通过其属性表单体现, 属性表单定制在 BMIDE 中完成。按照航天器产品的属性特征设置表单内容, 如产品代号、研制阶段等, 对各属性项逐一设置属性变量, 并对变量的类型、名称、大小、在表单中的布局方式及对应的扩展内容进行定义, 经过系统部署即可完成表单的定制。

3) 数控程序文本格式扩充

航天器产品数控加工现场数控机床配备的数控系统具有多样化特点, 不同的数控系统对数控程序文本格式的要求不同, 如.txt、.h、.ptp 等, 在集成环境中需要对文本格式进行客户化扩充以满足集成环境对于不同文本格式数控程序的管理。在 BMIDE 中查找集成环境下数控程序的数据集类型“UGCAMPPTP”, 对该数据集类型添加所需要的各种文本格式类型, 经过系统部署后实现文本格式的扩充, 如图 1 所示。

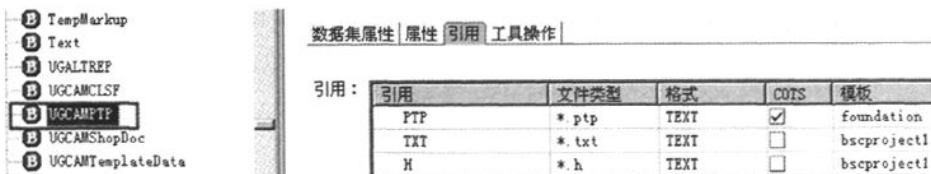


图 1 数控程序文本格式扩充

4) 后置处理模板改造

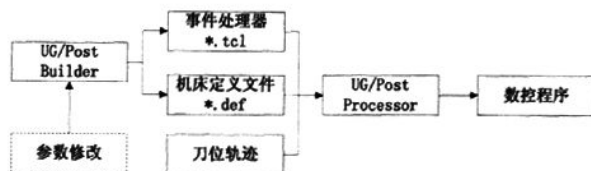


图2 集成环境下的后置处理流程

集成环境下刀位轨迹的后处理工作利用由UG NX4的后处理开发工具—UG/Post Builder生成的后处理模板文件进行后置处理工作。后处理模板文件分为事件处理器(*.tcl)与机床定义文件(*.def)，与刀位轨迹共同作为UG/Post Processor的输入条件以生成数控程序。为满足航天器产品数控加工现场部分机床控制系统的要求，在后处理模板文件的设置中需要提取产品代号、刀具名称等信息作为数控程序的辅助信息。由于集成环境下对应的部分参数变量可能会发生变化，如模型文件名称变量由“\$mom_part_name”变为“\$mom_attr_PART_DB_PART_NO”，沿用原始的后处理模板文件会使数控程序中的对应信息以乱码显示。因此需要按照各数控系统的实际需求对集成环境下的参数变量进行检查核对，并在UG/Post Builder进行变量更改，使生成的后处理模板文件满足控制器要求，如图2所示。

2.2 数控编程数据组织管理

Teamcenter 2007中通过产品数据对象、工艺数据对象等对象模型实现对产品生命周期中各个阶段数据的管理。其中产品对象是产品结构的基本组成部分，产品中的每一个零、部件均作为一个产品对象，产品结构依据产品对象之间的父子关系构建；数控编程数据作为产品工艺数据的一部分，由工艺对象组织管理，工艺对象依靠与产品对象的关联实现组织管理。

2.2.1 产品对象模型

在Teamcenter 2007中将航天器产品中的每一个零、部件作为一个产品对象，以Item表示。Item的命名由ID号、版本、名称组成，ID号通常被作为产品对象在系统中的唯一标识。Item的结构包括Item、Item属性表单、Item版本和Item版本属性表单四部分，其中Item用于组织零部件对象的全局数据，Item版本用于组织零部件对象某一版本的数据。产品结构通过Item间的父子关系体现，通过两种方式实现搭建：一种在结构编辑器(PSE)内手工搭建；另一种是通过NX Manager的“Import Assembly”功能，自动将UG NX4模型文件中的装配层级关系转化成Teamcenter 2007系统中的父子关系，并自动取零件ID、零件名称等相应的属性信息，如图3所示。



图3 由装配模型自动搭建产品结构

2.2.2 工艺对象模型

Teamcenter 2007将工艺规划中的工艺、工序、工步均作为数据对象来处理，这些工艺对象具有与Item相同的结构形式和命名方式。由于航天器产品数控加工普遍采用专用数控工艺的方式，即数控工艺是与机加工工艺并列存在的工艺信息，因而在Teamcenter 2007系统中令每一个产品对象对应一个数控工艺对象。工序对象与实际加工中的工序安排一一对应，工序对象作为工艺对象的子节点进行

组织管理，每一个工序对象包含该工序的几何加工模型、数控程序、刀具信息等数据文件，产品数据与工艺数据通过产品对象与工艺对象实现关联，如图 4 所示。

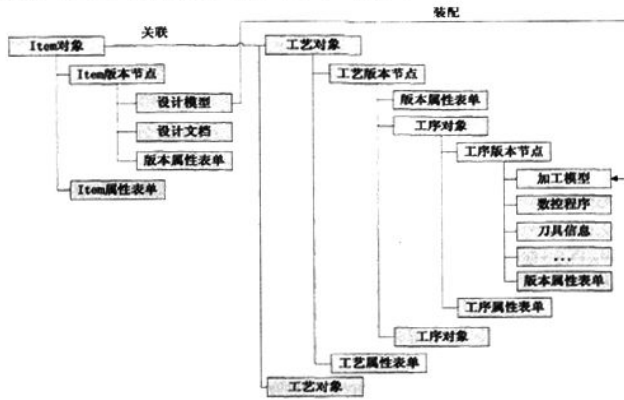


图 4 产品对象、工艺对象的结构及关系

集成环境下几何加工模型通过独立建模、从本地计算机环境导入历史模型及通过装配设计模型三种方式构建。由于航天器产品数控加工往往包含多个工序，每个工序对象对应各自的几何加工模型，不同工序间几何加工模型的差异较小，若各工序的几何加工模型都单独创建则占用较多的数据库资源。在编程过程中将设计模型作为各工序加工模型的子装配体，使工序模型占用空间较少的系统资源，同时各工序模型之间能够自动保持同步更改，极大地提高了编程质量与效率。当加工模型不满足该工序的编程要求时，利用 UG NX4 的 Wave 功能复制出新的几何体，根据编程需要进行编辑后作为加工模型，由于新几何体与设计模型具有关联性，两者可保持同步更改。

组合加工是指在产品零部件装配或焊接成形后对整件进行加工，在航天器产品加工中有着广泛的应用，其几何加工模型往往由多个零、部件的几何模型装配而成。集成环境下组合加工几何加工模型的创建首先通过在系统内查找所需的零、部件对象的几何模型，再根据约定的版本配置规则确定模型文件的有效版本，最后对各模型文件执行装配操作以生成所需的模型，如图 5 所示。由于系统自动将模型间的装配操作转化成对应 Item 之间的关联关系，因此当被某一子装配体发生变更时，组合加工模型及其属性信息会自动被更新，避免了由于局部零件变更而产生的质量隐患。

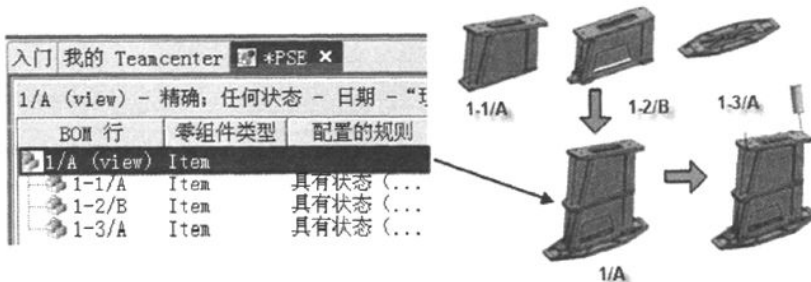


图 5 组合加工几何加工模型创建

2.3 数控编程管理规范定制

2.3.1 版本管理

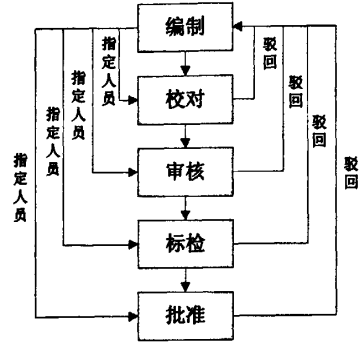
Teamcenter 2007 提供多种版本管理机制，在航天器产品数控编程过程中采用数据集版本与对象

版本相结合的方式实现对数据文件的全过程管理。其中，数据集版本以数据文件的保存操作为标记，各版本下的文件可被作为新版文件重新使用，有效保证了数据的可追溯性与重用性。对象版本以流程审批为标记，流程审批结束后数据文件被自动赋予发布状态，再次修改需要执行换版操作，并结合相应的版本配置规则使用。

2.3.2 流程审批

在流程审批过程中首先创建审批流程模板，具体包含对审批节点、人员、权限等内容的设置。其中审批节点根据实际审批流程创建，节点动作设置规定节点下可以执行的操作，人员设置包含对审批人员角色、数量及相应的权限的限制。

按照航天器产品编程数据的管理规范建立数控编程审批流程模板，如图6所示，包含编制、校对、审核、校检、批准、审批五个节点，由编程人员以工序对象组织数控加工数据作为送审文件发起流程，并指定各节点审批人员，各节点审批人员按照权限设置执行相应的审批操作，当流程在任意节点被驳回时返回至编制节点，审批流程结束后送审文件自动变为发布状态。



2.3.3 权限设置

Teamcenter2007 具有静态权限、动态权限、对象权限、项目权限等多种权限控制方式。在航天器产品的数控编程管理中采用静态权限、动态权限与对象权限相结合的方法实现对编程数据与过程的安全控制。

1) 静态权限

利用 AM 规则控制各角色人员对编程中涉及的产品对象、工艺对象等各类对象，数控程序、加工模型等各类数据集文件的访问权限，权限的设置原则是数控编程数据的编制者具有读、写、更改等权限，同角色内的其他人员具有读、复制等权限。

2) 动态权限

采用对数控编程审批流程中各节点人员进行权限设置的方式，对审批过程中各人员的可执行行为进行规范。设置原则是数控编程数据的编制者是流程发起人，流程发起后，流程发起人员对送审文件有只读权，无编辑权；审批人员对送审文件具有只读权，无编辑权；

3) 对象权限

由数控编程数据的编制者或系统管理人员通过更改某一特定数据对象的访问权限，实现特定数据权限的变更，以灵活满足因人员调动、业务调整等情况引起的数据调整需求。

3 方案应用

3.1 数控程序编制

数控程序编制包括方加工案规划、创建刀位轨迹、后置处理等一系列工作。在集成环境下根据加工方案构建产品对象结构、编程数据对象结构后，在 UGNX4 加工模块内通过创建 Operation，并结合加工模型在 Operation 中设置加工对象、刀具导动方式、切削步距等加工参数自动生成刀位轨迹。刀位轨迹不能直接在数控机床上使用，须通过后置处理转换成数控机床识别的特定数控程序，通过选择相应的后处理模板文件，生成的数控程序被临时放置在计算机本地磁盘下的临时文件夹内，当加工模型文件被执行保存操作时，程序实体被加密提交至卷内，关系属性被提交至数据库，使生成

的数控程序自动保存在其加工模型所对应的工序节点下,如图7所示。

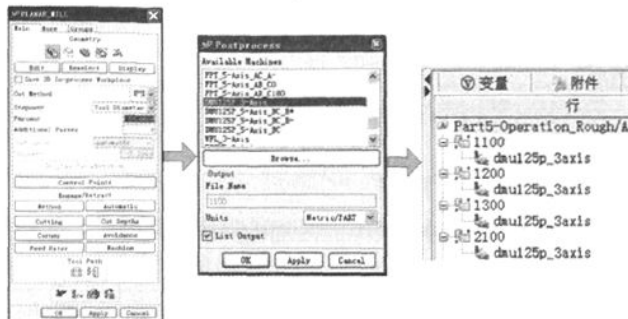


图7 数控程序编制



图8 轻量化模型浏览

3.2 数控程序检验

数控程序检验是保证航天器产品质量高可靠性的重要手段之一, Teamcenter 2007 系统为检验工作提供了公共平台与单一数据源。在集成环境下检验工作贯穿于流程审批工作中, 检验人员按照审批节点人员角色的权限设置共享数据文件并进行程序检验, 消除了数据文件的人为传递, 提高了数据的准确性与唯一性。对于形状复杂、编程周期较长的产品, 检验人员通过跟踪编程的过程及时发现过程中出现的问题, 有效缩短编程周期。同时通过高端可视化工具及虚拟样机, 检验人员借助轻量化模型无须启动 UG NX4 就可通过对加工模型旋转、平移、缩放进行浏览或标注, 为检验工作提供了便捷, 如图8所示。

4 结束语

经过实际生产应用验证, PLM 在数控编程中的应用有效解决了数字化技术间缺乏信息共享平台的矛盾, 使数控模型、数控程序等技术文件得到规范管理与严格控制, 为其下游工作的开展提供了单一的数据源, 有效提高了数控加工的质量与效率; 同时积累大量准确的产品数据, 加强了企业对产品信息的积累与重用能力, 为提高航天器产品的研制质量与效率奠定了重要基础。

参考文献

- [1] Ravi Sandhu, Rationale for the RBAC96 Family of Access Control Models, Proceedings of the ACM Workshop on Role-Based Access Control, 1995:1-8
- [2] 周代忠, 面向航空发动机 PLM 数控程序管理系统研究与应用, 学位论文, 大连理工大学, 2009.6.6
- [3] 丁海鹭, Teamcenter 的 2007 新纪元, CAD/CAM 与制造业信息化, 2007 年 12 期: 6-7
- [4] Teamcenter 2007 MY Teamcenter Guide[R]. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc, 2007:2-5

作者简介

郑立彦, 女, 1980 年生, 工程师, 毕业于西北工业大学, 航空宇航制造工程专业硕士研究生, 目前从事 CAD/CAM 工作。

通信地址: 北京市 2708 信箱 20 分箱, 邮编: 100190 E-mail: zhengliyan99@163.com 电话: 010-68379456

基于PLM的航天器产品数控编程管理研究与实现

作者: [郑立彦](#), [林小青](#), [钟振宇](#), [王小丹](#)
作者单位: [北京卫星制造厂](#)

引用本文格式: [郑立彦](#). [林小青](#). [钟振宇](#). [王小丹](#). [基于PLM的航天器产品数控编程管理研究与实现](#)[会议论文] 2011