

复杂产品装配工艺规划与仿真 技术研究与应用

Research and Application of Assembly Process Planning and Simulation Technology of Complex Product

中国空空导弹研究院 王英健 刘立双



王英健

中国空空导弹研究院研究员，1984年毕业于西北工业大学，研究方向为数字化制造和精密加工。

随着数字化设计与制造技术在制造业的广泛应用，特别是三维设计技术发展，复杂产品的研制模式正在发生根本性变化，三维数字模型正在取代二维图纸，成为新产品研制的制造依据，用一个集成的三维数字模型可完整地表达产品生命周期管理

在三维数字化系统环境的支持下，通过在装配工艺规划、设计和仿真阶段充分应用三维产品模型、建立三维可视化的工艺指令表达方式，从而实现装配工艺规划设计从以文字编辑为主的二维工艺编制向三维工艺编制转变，提高产品装配工艺规划与可行性验证能力，缩短工艺准备周期。

(Product Lifecycle Management, PLM) 定义信息，包括制造信息和设计信息，保证产品数据 PLM 的唯一性^[1]。

本文面向复杂产品三维数字化定义过程延伸到工艺准备阶段对装配工艺规划、设计和仿真的迫切需求，针对采用二维图纸和传统工艺指令的方式导致工艺规划过程对工艺人员经验的依赖，工艺指令可视化程度低、不直观，在新产品的制造过程中，工装设计不合理、工艺设计不合理等问题，产品质量和交货周期的问题等。在三维数字化系统环境的支持下，通过在装配工艺规划、设计和仿真阶段充分应用三维产品模型、建立三维可视化的工艺指令表达方式，

从而实现装配工艺规划设计从以文字编辑为主的二维工艺编制向三维工艺编制转变，提高产品装配工艺规划与可行性验证能力，缩短工艺准备周期。

PLM 环境下的复杂产品装配 工艺规划与仿真分析

1 PLM 环境基于三维的复杂产品 研制工作模式

产品全生命周期管理是在产品数据管理(Product Data Management, PDM)基础上发展而来的一种全新的管理理念和技术，是对产品从用户需求、产品设计、工艺规划、制造装配、维护服务到报废回收等整个生命

周期所涉及的产品、过程、资源进行管理的技術。对复杂产品实施产品全生命周期管理,可以达到优化设计和生产流程、提高生产效率、缩短研制周期的目的^[2]。

产品定义方法经历了二维(Two Dimensions, 2D)到三维(Three Dimensions, 3D)模型发展的过程。近年来,在三维应用方面,飞机制造业取得了巨大成就,如波音公司在波音 777 飞机的设计过程中没有使用一张图纸,全部都在计算机中模拟完成。成百上千的不同专业的工程师在计算机网络上进行 3D 模拟设计,对飞机的同一构件进行虚拟操作,通过虚拟访问对飞机的各部分进行数字化预装,极大地节省了设计、工艺和制造时间。波音公司的 7E7 实现了整机的 3D 虚拟装配仿真和验证,通过飞机数字化装配仿真和自动装配,提高了零部件的装配准确度,使用预装配技术,使波音 7E7 的地板梁装配时间由 19 周减少到 3 周,减少了设计变更,缩短了工艺规划时间。装配周期缩短 50%,工艺设计周期缩短 30%~50%^[3]。

2 PLM 环境复杂产品装配工艺规划与仿真分析

产品装配是复杂产品制造过程中的一个重要领域,占用大量的制造时间和制造资源;传统装配工艺基于二维图纸进行设计,缺乏事前的验证手段,装配工艺的可行性很大程度上取决于工艺人员的个人经验,工艺设计需要工艺人员通过二维图纸,理解零组件之间的装配关系,主要通过经验来考虑装配的顺序等,这对工艺人员有比较高的要求。

经验不丰富的工艺人员需要用大量的时间来消化产品图纸和工装图纸,并且还不能保证设计出的工艺的准确性,导致工艺设计的效率比较低,准确性也难以保证。并且复杂产品装配所需要的夹具、工装数量多,结构复杂,很多装配问题只有在生产

现场才被发现,导致了生产现场的工程更改工作量巨大,生产周期长,生产成本低^[4]。

在 PLM 环境下,三维装配工艺规划与仿真针对面向生命周期的工艺指令信息共享,面向三维产品模型在工艺设计过程中传递、应用、共享,建立从 3D 工艺规划、装配仿真,工艺文档一体化的装配工艺规划系统,以提高质量和效率、降低成本。通过分析,主要需求如下:

(1) 提供一种轻量化的环境,能够将庞大的型号产品三维模型转化为便于传输、不包含核心设计信息的轻量化模型,既便于后续的装配规划与设计并行展开,又能够进行三维工艺指令的发布,面向生命后周期进行工艺支持。

(2) 通过 3D 模型建立装配工艺过程、零件、资源紧密结合的工艺过程仿真,在工艺设计环境实现 3D 的虚拟工艺验证,保证工艺的可行性。提供一个集成化的装配工艺规划环境,能够快速处理大量的参装件和装配资源,同时能够对装配顺序、装配规程、装配路径、装配干涉等各种技术要求进行仿真,确保预装配的可行性。

(3) 提供一种三维工艺指令信息的共享环境,能够面向产品的整个生命周期进行工艺指令信息的共享和工艺指令支持,并确保工艺指令的精确性和完整性,是现场指导和培训使用可视化的典型示教。

面向 PLM 技术的发展,复杂产品的工艺规划研究与应用正朝着以下几个主要方向发展^[5]:

(1) 工艺设计模式从二维方式向三维方式的转变。如何在工艺设计与管理过程中充分三维产品模型,不断地提高工艺工作的效率,以支持基于 3D 模型的设计、工艺和生产的协同工作、装配规划以及数字化制造是主要的研究方向。

(2) 基于三维产品模型的工艺

设计、仿真、优化与验证。通过在工艺领域实现工艺与 3D 模型建立紧密的联系,在工艺设计环境实现 3D 的虚拟工艺验证,在工艺设计阶段进行有效验证,对 3D 模型与工艺的关联分析与优化,解决复杂产品工艺准备周期较长、工艺协调复杂的问题。

(3) PLM 下创新型的工艺知识管理。由于三维产品模型包含的丰富的工程语义信息,对三维产品模型进行有效管理和基于特征的知识挖掘研究,支持工艺知识的有效积累、检索和使用,这是突破快速工艺准备瓶颈的关键之一。

(4) 基于三维产品模型的 PLM/CAPP/CAM/ERP/MES 集成。面向 3D-PLM 的框架实现基于 3D 模型的 CAPP 与 CAD、CAM、PDM、ERP 等 CAX 系统的紧密集成,支持 PLM 的使用。

复杂产品装配工艺规划与仿真系统开发

复杂产品装配工艺规划与仿真系统(Complex Product Assembly Process Planning and Simulation System, CPAPSS)基于 Tecnomatix 平台和 PDM 系统、CAPP 系统的集成,面向我院进行开发、实施与应用形成的应用系统,CPAPSS 能够支持装配工艺规划、装配工艺设计、装配过程仿真以及装配工艺信息的全面集成,具有三维工艺规划、装配仿真和优化、工艺文档等一体化的能力,使得工艺规划人员能够方便地、迅速地地进行工艺规划的设计、优化、仿真,保证了信息交流和共享。

CPAPSS 系统以 3D 产品数模、装配的工装数模以及 EBOM 为前提和基础。产品装配体首先完成装配工艺组件划分,将组件层次化,形成产品结构树;完成工艺组件划分工作后,在集成环境下针对产品装配体进行装配顺序规划,确定各个零组件的先后装配顺序;在确定装配顺序

的基础上,结合装配工装,完成面向装配过程可达可拆卸的装配路径生成,确定各个零组件在集成二维工装环境下的装配过程运动轨迹;确定了装配顺序和装配路径,也即完成了装配过程中的宏观规划工作,然后考虑产品的实际装配过程,根据装配操作(定位、旋转等)将装配流程细化,再输入必要的操作说明和注意事项,形成装配工艺流程,最后可以按需要的格式输出工艺文档。CPAPSS 系统业务功能流程如图 1 所示。

(1) 装配工艺主管人员在 PDM 系统进行装配结构的可视化调整,形成工艺 BOM,并对工艺 BOM 进行装配工艺分工,确定各个部件的装配车间;然后 PDM 系统将工艺分工信息(*.xml)、三维模型信息传递给 Tecnomatix 系统,并建立产品的装配

工艺结构;

(2) 装配车间接到生产任务之后,车间工艺组长根据获取的部件 PBOM,进行任务分工,将部件 PBOM 划分为更小的分部件,并将分部件指定具体的工艺人员进行装配工艺设计;工艺编制人员接收任务后制定工艺流程顺序,确定产品在装配过程中所需的装配工序,制定工序之间的顺序,形成装配工艺流程;接着进行装配工艺的详细设计,指定各个装配工序所需要的零组件、制造资源(工装、设备、工位等)等信息;

(3) 装配工艺人员根据装配工艺设计信息,进行装配路径规划,对装配工艺设计进行仿真验证,确保装配工艺设计的可行性和合理性,并将仿真结果反馈给装配工艺规划与设计,并输出相应的仿真图片、仿真动

画信息;

(4) 将装配工艺设计、装配工艺仿真产生的工艺信息可以直接输出(*.xls)格式的工艺报表,3D 工艺文件(*.pdf),传递给 CAPP 系统,然后由 PDM 系统进行审批、存档。

(5) 同时,三维装配工艺规划、设计与仿真系统亦可以产生装配工艺信息(XML)、仿真动画信息(AVI)、仿真图片(JPG),传递到 CAPP 系统,由 CAPP 系统输出工装汇总表、仪器设备汇总表、辅助材料汇总表、零部件配套表及详细的装配工艺信息,并将装配工艺信息传递给 PDM 系统进行审批与存档。

(6) 制造执行系统以及生成现场,都可以通过 PDM 系统获取相应的数据。MES 系统,通过 PDM 系统间接的实现了与装配工艺规划、设计

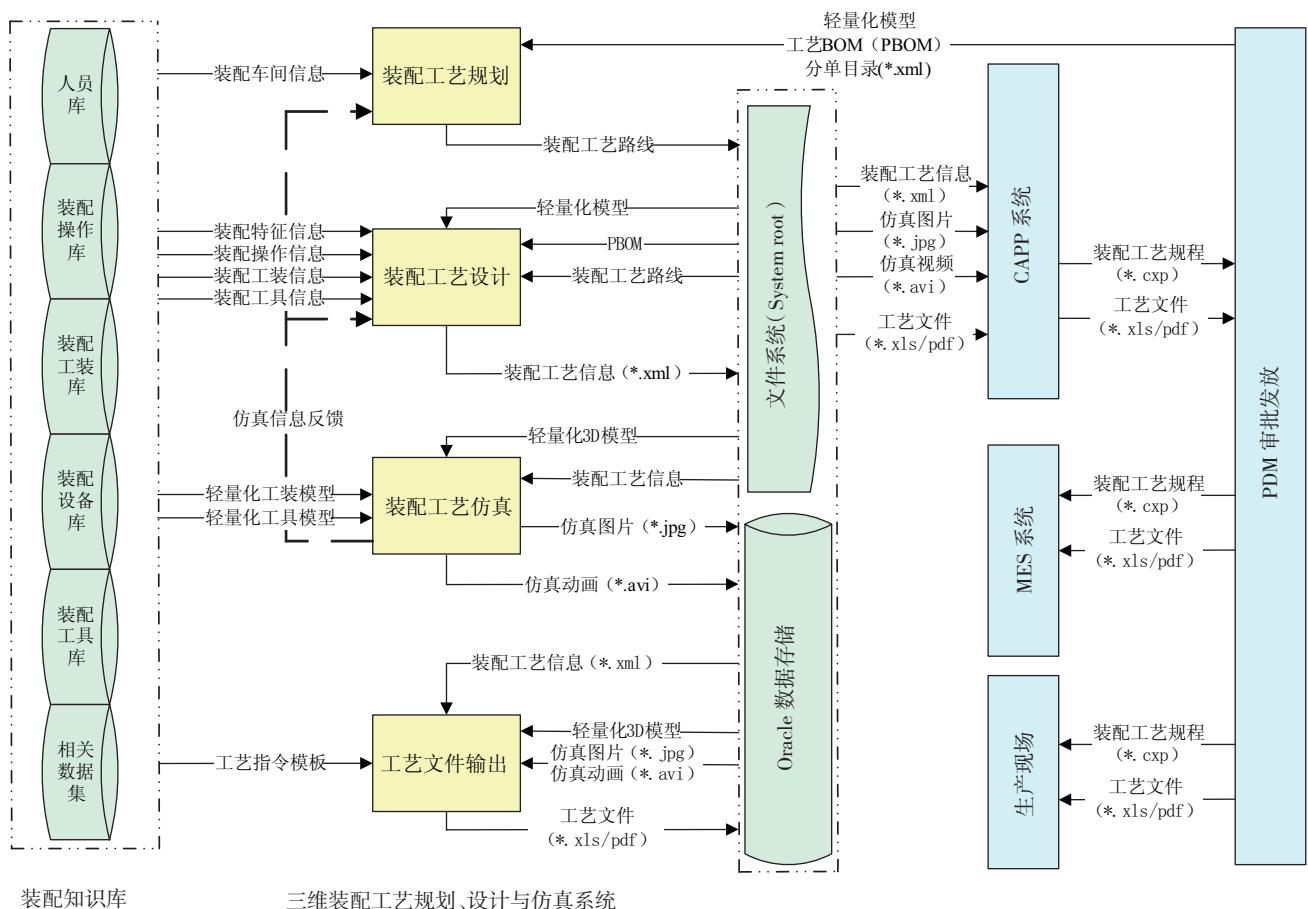


图1 CPAPSS系统业务功能流程

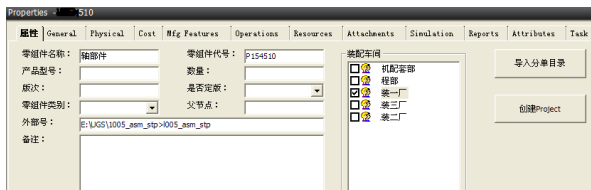


图2 装配车间工艺分工

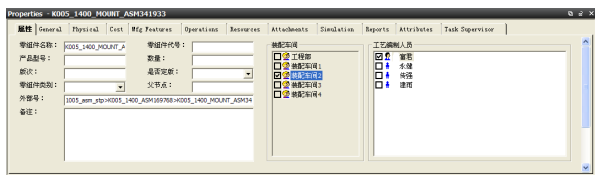


图3 装配工艺任务分工

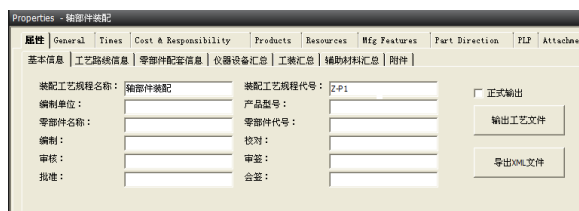


图4 装配工艺规划

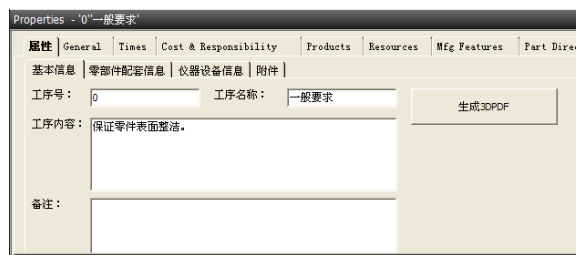


图5 装配工艺设计

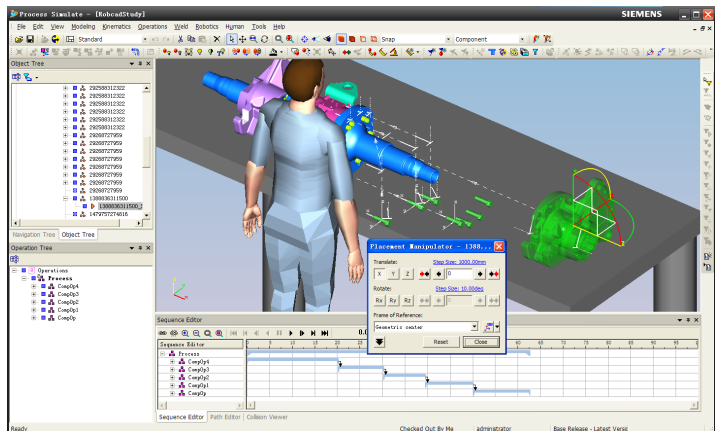


图6 装配工艺仿真

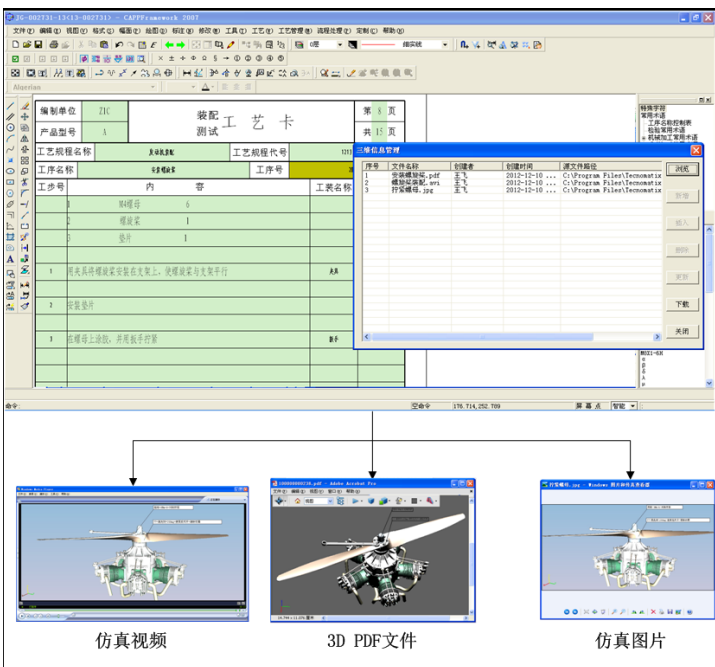


图7 可视化装配工艺文件

与仿真系统的集成。

CPAPSS 的典型应用界面如图 2~7 所示。其中,图 2 描述转配车间工艺分工,指派工艺所属车间;图 3 描述装配工艺任务分工,指派具体工艺设计人员;图 4 描述装配工艺规划,进行工艺路线设计,指定装配资源;图 5 描述装配工艺设计,进行工艺的详细设计;图 6 描述装配工艺仿真,验证工艺设计的合理性;图 7 描述装配工艺输出,用于指导现场生产。

结束语

航空复杂产品制造已经成为制造业和国家竞争力的制高点,为了缩短产品研制周期,提高装配质量和效

率,装配工艺规划、设计必须从基于二维图纸的传统模式向基于三维数字化模型的新模式转变。

根据我院在 PLM 及三维环境下的实际需求开发了一个基于 Tecnomatix 软件的装配工艺规划、设计与仿真系统,该系统已在某航空制造企业得到实际应用,显示出良好的应用效果,有效指导了装配现场进行装配工作,提高了生产效率,缩短了产品预研周期。

参考文献

[1] 王成恩,于宏,于嘉鹏,等.复杂产品

装配规划系统.计算机集成制造系统,2011,17(5): 952-960.

[2] 南风强,汪惠芬,郝翠霞.网络协同数字化预装配系统关键技术.计算机集成制造系统,2010,16(4): 724-730.

[3] 毕利文,唐晓东,杨红宇.飞机数字化装配工艺仿真技术.航空制造技术,2008(20): 48-50.

[4] 杨润尧,武殿梁,邓华林,等.虚拟环境下产品装配技术的研究与实现.计算机集成制造系统,2004,10(10): 1220-1224.

[5] 宁汝新,郑轶.虚拟装配技术的研究进展及其发展趋势分析.中国机械工程,2005,16(15): 1398-1404.

(责编 深蓝)