

# 大飞机工装数字化生产线

张耀平, 乔顺成, 陈金平, 党建卫, 王卫军

(中航飞机西安飞机分公司, 西安 710089)

**[摘要]** 大飞机的研制质量和周期很大程度上依赖于工艺装备(工装)的设计制造质量和周期。通过集成工装设计、制造、管理技术,构建飞机工装数字化生产线,实现工装研发过程各环节数据流的畅通,才能充分发挥数字化技术在工装研发过程中的作用。中航飞机西安飞机分公司的大飞机工装数字化生产线的应用实践表明,在数字化环境下,机床的加工效率显著提高,工装返工数量大幅下降。

**关键词:** 工装; 数字化生产线; 加工效率

**DOI:**10.16080/j.issn1671-833x.2016.1/2.064



张耀平

毕业于西北工业大学,高级工程师,现任中航飞机西安飞机分公司技术装备制造总厂厂长,主要研究方向为整体壁板及长桁类零件的展开建模、飞机工艺装备数字化设计与制造。

目前,国内外大飞机普遍采用多厂协同研制的模式,因而对数字化技术的应用提出了更高的要求。大飞机零部件数量多,装配协调难度大,对工装研制的技术要求比普通飞机更加苛刻。

随着计算机辅助设计技术、网络

技术以及数字化加工技术的发展,国内大飞机制造厂家在大飞机研制过程中普遍采用三维模型取代传统的实物样机模拟量,大量使用三维设计技术、数控加工技术及数字化安装检测技术,显著地提高了工艺装备的研发质量和效率,改变了传统工装制造的专业分工、生产方式、作业流程和组织管理模式<sup>[1-5]</sup>。从总体来看,目前国内飞机制造业开展的数字化工作,在飞机三维数字建模、数字样机、工装数字化定义、数控加工等局部技术应用方面取得了长足进步,有力地促进了型号研制工作的顺利进行。但是由于数字化设计制造支持工具的限制,目前的数字化方法还没有形成完整的技术体系,部分技术或工具尚处于孤立状态,未实现大飞机工装从设计、工艺、制造到检测整个过程的信息畅通,这与波音、空客等国际一流飞机供应商还存在较大差距<sup>[6-7]</sup>。通过集成工装设计、制造、管理技术,构建大飞机工装数字化生产线,实现工装研发过程各环节数据流的畅通,才能充分发挥数字化技术在工装研发过程中的作用,从而提高工

装制造精度和效率,缩短研制周期,降低研制成本<sup>[8-9]</sup>。经过多种型号研制和国家数字化工程项目建设,能够实现工装研发全生命周期数字化的大飞机工装数字化生产线在中航飞机西安飞机分公司已经初步形成。

## 大飞机工装数字化生产线 总体框架

大飞机工装数字化生产线以计算机网络环境和并行工作模式为基础,在工装综合管理系统的支撑下,由工装数字化设计中心和制造中心两部分主体组成。该生产线以工装综合管理系统中的工装申请为起点,工装申请审批通过后在工装综合管理系统中生成工装设计和制造计划,分别传递到工装数字化设计中心和制造中心。工装设计人员通过飞机研制协同平台下载产品数模和技术条件,在数字化设计中心利用工装快速设计系统进行工装设计,利用有限元分析软件进行CAE工装刚、强度分析,设计完成后的工装数模导入工装CAPP系统,进行工装工艺方案制定。之后工装制造部门在数字化制

造中心开展工装制造工作,利用车间可视化系统监控工序的流转直至工装交付的各个环节,实现工装研发全生命周期的数字化管理,如图1所示。

## 以工装综合管理系统为支撑的系统集成

### 1 工装综合管理系统

作为支撑大飞机工装数字化生产线的管理工具,工装综合管理系统主要用于实现工装的新制、返修、定检、报废等申请审批与计划管理。其中工装申请在线审批采用工作流管理技术,利用管理系统工作流引擎定义各个业务流程,实现流程的自动化和规范化管理,加快数据的流转效率。同时系统还提供以直观的方式对业务流程的追踪控制功能,简化相关人员对业务进度的监控和管理,并能及时进行反馈和调整。

工装计划管理包括设计计划管理和生产计划管理两部分。工装设计计划管理模块基于主产品研制进度的需求,梳理轻重缓急和优先级,确定设计完成节点,实现对工装设计的进度控制。该模块主要业务功能包括工装产品设计计划编制及下达、设计计划调整、工装设计完成情况统计及考核报表生成等。工装管理部门通过工装生产计划管理模块控制生产进度。该模块主要业务功能包括汇总各部门提交的工装申请、生产计划编制及下达、生产计划调整、工装生产计划执行状态跟踪、工装生产计划考核等。

### 2 系统集成的实现

为保证大飞机工装研制过程的信息畅通,需实现飞机研制协同平台、工装综合管理系统和工装数字化设计中心的集成,工装综合管理系统、工装数字化设计中心和工装数字化制造中心的集成,以及工装数字化设计中心、工装 CAPP 系统和工装数字化制造中心的集成。这里以前三者的集成方法为例:飞机研制协同平

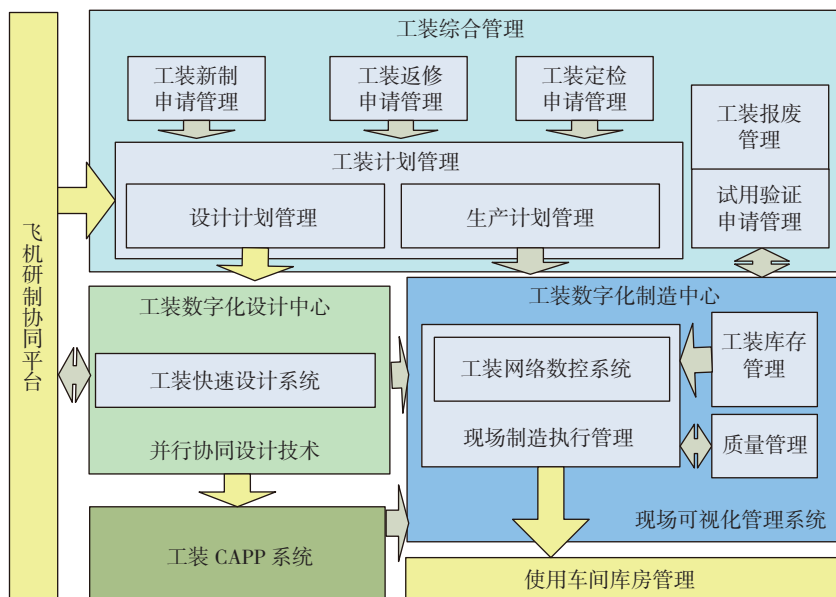


图1 大飞机工装数字化生产线总体框架

Fig.1 General framework of the large aircraft tooling digital product line

台将工装申请信息和 BOM 数据存入数据库接口用户的接口表中,分别供工装综合管理系统和工装 CAPP 管理系统接收;工装数字化设计中心从工装综合管理系统的用户的接口表中接收设计计划数据,并将设计计划的状态反馈到该接口表中;工装数字化设计中心从飞机研制协同平台中下载产品数据,并将设计结果上传至飞机研制协同平台。

## 工装数字化设计中心

### 1 工装快速设计系统

工装快速设计系统以建立基于知识工程的工装设计资源共享平台为目标,通过工装典型结构库、工装设计知识库来规范工装设备设计,使设计人员可以方便地借鉴前人的设计方案,实现工装设计资源的共享和重用,提高工装的设计质量和效率<sup>[10-12]</sup>。基于该系统,设计人员可以使用标准件库、成品件库、组件库来进行虚拟装配,也可以利用知识库功能进行推理设计,并且根据输入的设计申请,对标准件库、成品件库或组件库进行驱动。另外,设

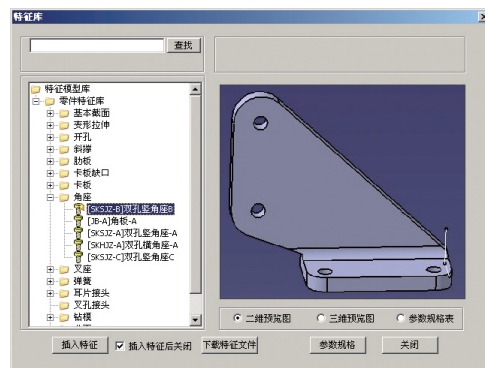


图2 工装快速设计系统典型结构库界面

Fig.2 Interface for typical structural parts in the tooling rapid design system

计人员还可以利用系统进行工装典型化、标准化、系列化设计模型的总结和积累,对标准件库、成品件库、组件库以及知识库进行扩充,持续完善系统。系统的典型结构库界面如图2所示。

该系统主要包括:模具智能快速设计模块,压型模具的快速设计模块,夹具智能快速设计模块,钣金零件成形过程仿真及模具优化设计模块,工装强度、刚性分析及结构优化设计模块,钣金弯曲模具回弹设计模块,柔性工装设计模块等子项。

· 模具智能快速设计模块:建立

典型系列模具库和知识库,实现基于知识的模具整体结构参数化驱动设计;通过采集被加工零件的几何信息,系统按照设计规则进行推理设计,实现模具的快速设计。

· 压型模具的快速设计模块:在产品数模或包含回弹信息的工艺数模基础上,实现压型模的结构参数化设计方法,并实现模具非工作区标准化,进而形成压型模具快速设计的算法和流程。

· 夹具智能快速设计模块:通过零件特征的提取、参数化以及零件相似性的定义,建立夹具实例库、知识库等,结合夹具定位、夹紧方案的辅助匹配与选择、定位误差的辅助分析与计算,实现基于知识的夹具快速设计。

· 钣金零件成形过程仿真及模具优化设计模块:通过仿真钣金零件的数字化成形过程,模拟模具与零件之间的相互作用以及零件在冲压时的变形全过程,识别模具设计缺陷,进而优化模具结构。

· 工装强度、刚性分析及结构优化设计模块:基于工装在温度变化和受外力条件下的强度、刚度和尺寸稳定性的 CAE 分析规范,集成三维设计系统、CAE 分析软件和优化算法,实现工装的最优设计。

· 钣金弯曲模具回弹设计模块:在回弹参数数据库基础上,根据回弹量生成零件工艺数模,为模具数模的设计提供依据。

· 柔性工装设计模块:基于数字控制技术,通过工装自身结构的重组变型满足同系列产品尺寸规格、装配工艺的变化,实现工装与零件“一对多”的模式,从而降低产品研发制造成本,缩短生产准备周期。

## 2 并行协同设计技术

飞机设计单位完成产品初步设计工作的同时,向飞机研制协同平台打包发放可用的工程数据集,驱动工装数字化生产线开展相应的工装设计、更改以及试制任务,实现工装与

产品的并行协同设计<sup>[13]</sup>。并行协同技术主要基于 VPM 技术,产品设计端的服务器与飞机研制协同平台同步交换信息,工装数字化设计中心从飞机研制协同平台实时跟踪产品设计状态,如图 3 所示。在飞机制造数据的有效性、可追溯性、完整性保障机制的支持下,产品与工装的并行协同设计的主要内容可归结为以下几个方面:

- 产品设计在设计阶段完成工艺组合件的建立,完成工艺路线的划分;
- 基于 MBD 的工装与产品的关联设计;
- 基于 MBD 的工艺模型与产品的关联设计;
- AO、FO、TO 的预编制;
- 必要的工装试制验证工作。

## 工装数字化制造中心

### 1 工装网络数控系统

工装网络数控系统(DNC)以数控技术、计算机和网络技术、通信技术为支撑,通过网络将车间设备、资源加以集成,最终形成数据流畅通的、可视化的网络数控制造单元。机床操作人员在机床操作端就可以自动调用服务器上的加工程序,改变原来因为程序传输问题让技术人员和操作工在机床和计算机间来回查看的状况,从而提高数据传输效率,缩短生产准备时间,提升设备利用效

率。工装 DNC 系统是由 DNC 系统网络平台、生产设备和工位智能化联网管理模块、数控程序文档流程管理模块、生产数据及设备状态信息采集分析管理模块、数控加工智能逆向仿真模块、刀量具智能数据库管理模块来共同实现的。

· DNC 系统网络平台:完整、稳定、安全的 DNC 系统网络平台是 DNC 系统稳定运行的前提。该平台使用“核心交换机—接入交换机—现场交换机”三层网络架构,接入交换机通过千兆光纤连接各车间的现场交换机,将来自现场的数据进行汇聚,并提交至核心交换机。

· 生产设备和工位智能化联网管理模块:用于支持现场操作人员在设备端发送远程命令,完成包括查看程序目录、调用程序、回传程序等在内多项远程操作。

· 数控程序文档流程管理模块:用于管理系统运行日志,记录动作、时间、程序信息等,按程序名、程序类型、人员角色、操作时间段等查询信息进行快速搜索,自动实时更新该用户的任务信息。

· 生产数据及设备状态信息采集分析管理模块:用于维护系统数据服务器上的基础数据,特别是设备信息、工单任务信息以及人员信息,通过现场生产数据采集手段实时对设备的运行状况进行监控管理。

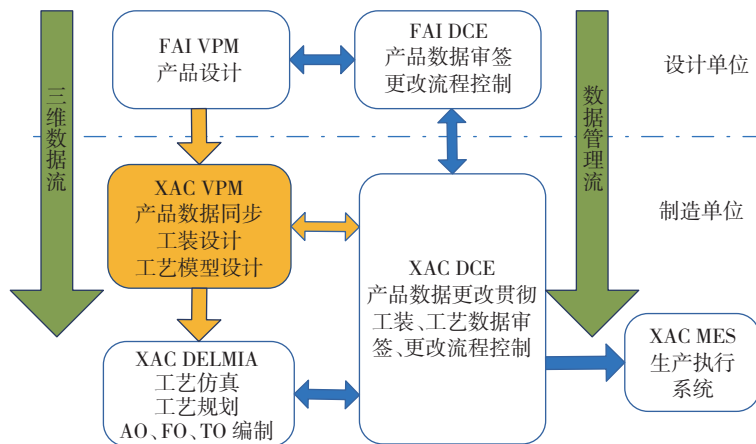


图3 工装与产品并行协同设计系统

Fig.3 Concurrent and collaborative design system for tooling and aircraft

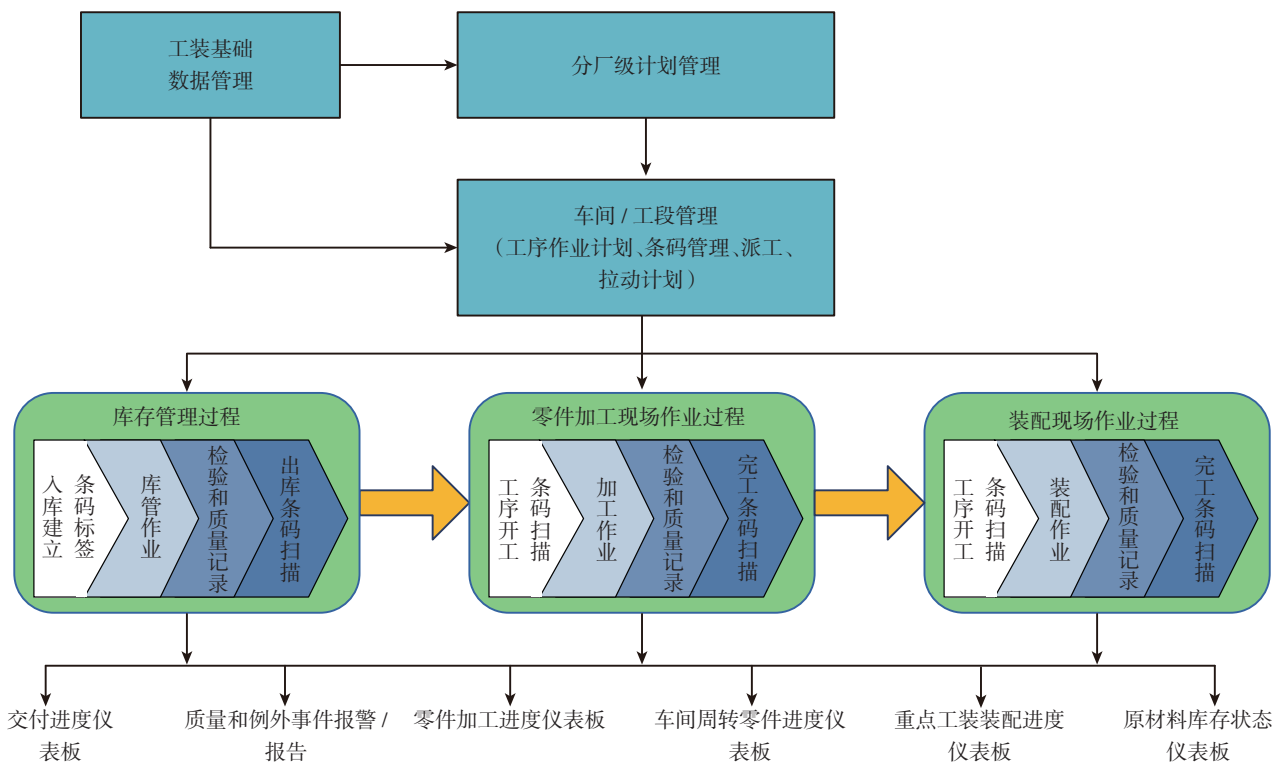


图4 现场可视化管理系统结构

Fig.4 Visualization management system for production site

· 数控加工智能逆向仿真模块：用于模拟仿真加工数控机床的实际加工过程，从而减少废品率，减少断刀及机床碰撞的可能性。

· 刀量具智能数据库管理模块：用于刀量具出入库管理、刀量具跟踪管理以及组装刀具管理等。

## 2 现场可视化管理系统

现场可视化管理系统为大飞机研制现场每一个必要的参与者提供采集、访问和分析生产过程数据的信息平台，允许生产管理者进行数据查询和统计分析，及时、准确、全面的了解生产情况，从而采取有效的措施，保证生产能按照预定的计划正常进行。现场可视化管理系统涵盖工装生产计划可视化、物料需求计划可视化、车间和工序作业计划可视化、现场作业可视化、现场质量管理可视化等内容，如图4所示。

## 工装数字化生产线的实践验证

表1为大飞机工装数字化生产线应用前后典型工装的机床加工时

表1 机床加工效率的对比

序号	机床	细分项目/h	应用前	应用后	效率提升百分比/%
1	K211 数控机床	前期准备时间	15	8	53.3
		程序后处理时间	6	3	50
		加工时间	129	195	51.2
2	PAMA 机床	前期准备时间	23	13	56.6
		程序后处理时间	8	3.5	56.2
		加工时间	116	183	57.8
3	北一机	前期准备时间	13	7	53.8
		程序后处理时间	9	5	55.6
		加工时间	132	203	53.8
提高有效工作时间百分比(总)/%			54.2		

间统计值，表2为工装数字化生产线应用前后两种机型的工装返工数量统计值。通过表1和表2可以看出，在工装数字化生产线环境下，机床的加工效率显著提高，工装返工数量大幅下降。

表2 工装返工数量的对比

序号	细分项目	应用前	应用后
1	工装返工数量	2077	1465
2	工装总数量	5469	15386
3	设计更改占比/%	37.9	9.5
减少返工百分比(剔除设计更改)/%		74.9	

## 结束语

飞机工装数字化生产线采用计

算机定义、管理和使用工装研发过

程中所包含的所有数据流,理顺了数据流的传递关系,改变了长期以来飞机工装研发过程的信息孤岛现象,实现了工装研发过程的可视化,不仅有效提高了管理效率、缩短了生产准备时间、减少了返工和报废,还为分析瓶颈环节、追溯质量问题等工作提供了依据。中航飞机西安飞机分公司的大飞机工装数字化生产线应用实践,对航空航天等高端制造行业的数字化生产线建设工作具有一定参考价值。

### 参考文献

- [1] 翟传祥. 工装数字化应用管理[J]. 航空制造技术, 2014(18):92-94.
- ZHAI C X. Tooling digital application management[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2014(18):92-94.
- [2] 赵轶. 飞机工艺装备的数字化应用与发展[C]. 陕西省第九届青年科学家论坛, 西安, 2014.
- ZHAO Y. Digital application and development of the aircraft tooling[C]. The Ninth Young Scientists Forum in Shanxi Province, Xi'an, 2014.
- [3] 蒋丹鼎. 航天复杂产品数字化生产线的研究与应用[J]. 信息化技术, 2011, 6:33-36.
- JIANG D D. The research and application of aerospace complex products digital product line[J]. Information Technology, 2011,6:33-36.
- [4] 卢文权, 侯志鹏, 韩波, 等. 对工装数字化技术应用的认识[C]. 第六届中国航空学会青年科技论坛, 沈阳, 2014.
- LU W Q, HOU Z P, HAN B, et al. Knowledge of tooling digital technology application[C]. The Sixth Young Scientists Forum in Shanxi Province, Shenyang, 2014.
- [5] 张雁龙. 数字化工装设计与制造技术[C]. 中国航空学会学术年会, 北京, 2007.
- ZHANG Y L. The digital tooling design and manufacturing technology[C]. Annual Conference of Chinese Society of Aeronautics and Astronautics, Beijing, 2007.
- [6] 李薇, 杨楠楠, 高大伟. 飞机复合材料构件数字化生产线技术[J]. 航空制造技术, 2008(3):42-45.
- LI W, YANG N N, GAO D W. Aircraft composite component digital product line technology[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2008(3):42-45.
- [7] 李薇, 杨楠楠, 高大伟. 数字化技术在复合材料构件研制中的应用与研究[J]. 航空制造技术, 2006(3):32-37.
- LI W, YANG N N, GAO D W. Application and research of the digital technology in aircraft composite component developing[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2006(3):32-37.
- [8] 王泽玉. 大型飞机异地协同数字化制造关键技术研究与应用[C]. 第三届全球华人航空科技研讨会, 西安, 2013.
- WANG Z Y. Research and application of the large aircraft digital collaboration manufacture key technology[C]. The Third Annual Global Chinese Aviation Conference on Science and Technology, Xi'an, 2013.
- [9] 许旭东, 李光俊. 飞机导管数字化生产线探讨[J]. 航空制造技术, 2005(9):83-86.
- XU X D, LI G J. Digital product line of aircraft tube[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2005(9):83-86.
- [10] 袁锋, 谢里阳, 隋天中, 等. 数字化生产线制造过程建模仿真系统研究[J]. 计算机工程与应用, 2004(18):18-21.
- YUAN f, XIE L Y, SUI Z T, et al. Manufacturing process modeling and simulation system research of the digital production line[J]. Computer Engineering and Applications, 2004(18):18-21.
- [11] 刘志存, 孟飙, 范玉青. 飞机制造中数字化标准工装的定义与应用[J]. 计算机集成制造系统, 2007,13(9):1852-1859.
- LIU Z C, MENG B, FAN Y Q. The definition and application of digital standard tooling in aircraft manufacturing[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2007,13(9):1852-1859.
- [12] 韩志仁, 韩盛夏, 万世明, 等. 基于快速设计的标准件库建立方法研究[J]. 沈阳航空工业学院学报, 2010,27(1):1-5.
- HAN Z R, HAN S X, WAN S M, et al. Research of the establishment method of standard parts library based on rapid design method[J]. Journal of Shenyang Institute of Aeronautical Engineering, 2010,27(1):1-5.
- [13] 赵锋, 雷光明, 何卫平, 等. 快速扩散制造模式下的工装快速准备研究[J]. 微电子学与计算机, 2006,23(8):176-180.
- ZHAO F, LEI G M, HE W P, et al. Research of tooling rapid preparation based on networked manufacturing environment[J]. Microelectronics & Computer, 2006,23(8):176-180.

## Large Airplane Tooling Digital Product Line

ZHANG Yaoping, QIAO Shuncheng, CHEN Jinping, DANG Jianwei, WANG Weijun

(AVIC Aircraft Co. Ltd. Xi'an Branch, Xi'an 710089, China)

**[ABSTRACT]** Developing quality and period of the large aircraft greatly depend on quality and period of the tooling design and manufacture. By integrating the tooling design, manufacture and management technology, building the large airplane tooling digital product line to ensure unimpeded data flow over the tooling developing cycle, role of digital technology in the course of tooling developing can be fully embody. Practical experience of the large airplane tooling digital product line in AVIC Aircraft Co.,Ltd.Xi'an Branch shows that, under the digital environment, the machining efficiency significantly improves and the rework quantity sharply decreases.

**Keywords:** Tooling; Digital product line; Machining efficiency

(责编 李丹)