

# 飞机数字化工艺技术发展 趋势初探\*

Trend in Digital Manufacturing Process Planning Technology for  
Aircraft Industry

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 许建新



许建新

西北工业大学机电学院副教授, 航空宇航制造工程专业工学博士。主要研究方向为 CAPP、制造业信息化、知识工程。

CAPP 技术的研究与应用在我国经历了智能化技术研究、单一专业工程应用以及平台化工程化应用等阶段。近年来基于 CAPP 的工具化系统在我国各个行业制造业中均得

CAPP 技术的研究与应用在我国经历了智能化技术研究、单一专业工程应用以及平台化工程化应用等阶段。近年来基于 CAPP 的工具化系统在我国各个行业制造业中得到普遍应用, 并且取得了良好的应用效果。

到普遍应用, 并且取得了良好的应用效果。

目前, 航空制造业信息化应用得到企业的充分重视和发展。飞机产品结构复杂, 零件结构、材料、状态多种多样, 工艺种类覆盖零件机械加工、钣金、冶金工艺、复合材料加工、部件装配、总装和试验等, 工艺过程复杂。在产品的设计、工艺设计、工装设计、制造过程及检测试验等业务领域广泛采用信息化技术, 特别是近年来在制造领域随着 PDM、CAPP 和 MES 的全面应用, 实现了工艺文件编制、工艺信息管理以及 PDM/CAPP/MES 集成等功能, 实现了工艺业务的信息化、集成化, 并且实现了生产准备、制造过程、质量控制等领域的信息化, 缩短了产品研制生产

周期, 提高了产品质量, 取得了明显的经济效益, 大大提升了企业核心竞争力。

但总体来看, 我国航空工艺数字化技术的应用还处在较低层次上的“计算机化”, 还需要大量工作才能满足新型飞机研制生产的迫切需要。

## 飞机工艺信息化技术应用需求

飞机产品基本是研制生产、单件小批生产模式, 产品从试制、定型、小批生产到批量生产, 工艺不断优化、细化和完善。特别是新材料、新结构、新工艺、新设备、新技术的不断应用, 迫使飞机的制造技术也必须不断创新、不断优化、不断提升, 才能满足新型飞机(如大飞机、新型战机等)研

\* 国家 863 项目 (2007AA040504) 资助。

制和批量生产的要求。

在工艺设计方法上,当前飞机制造 CAPP 基本采用交互式编辑和典型工艺的检索修订等方式,局限在工艺指令文件形成方面,是“基于经验的设计”,依靠工艺人员自身所具有的工艺知识能力经验和系统所存储的典型工艺,难以进行工艺优化和提升,工艺编制质量也有局限。正如前文所述,飞机是一个创新集成度非常高的产品,而且像飞机结构件、大型钣金件、部装总装电装等工艺十分复杂,技术要求 and 数控加工要求高,工艺设计时需要汇集大量信息和知识进行决策,特别是复合材料构件在新型飞机上的大量应用,使复合材料工艺领域的某些关键技术常待攻克解决和经验积累,因此,“基于经验的设计”无法满足工艺创新和优化的需要。

当前飞机制造过程中数字量与模拟量传递方式并存,工艺环节仍然大量采用二维工程图和工艺卡片等方式。而飞机产品设计过程已全面采用三维数字化样机模式,为了实现工艺与设计的并行、工艺与工装的并行、工艺与制造及检测的并行,必然要求在工艺业务上实现基于三维模型的数字量传递。飞机制造企业结合大飞机、新型战机等工程有全三维数字样机、研制生产和现有型号定型和批产的需求,对基于三维产品模型的工艺设计和管理有迫切的需求。

飞机工艺技术准备一般分为产品可制造性分析、工艺总方案确定(分工方案、装配协调方案、零件制造方案和工装方案等)、PBOM 构建(装配单元确定与分解、工艺分工路线)、车间工艺技术准备(工艺规程/AO/FO 编制、数控编程、工艺仿真和工艺装备需求等)以及工艺现场应用等相互联系的业务过程。飞机按照产品批架次进行生产和产品的配置,对工程技术状态管理、工艺配置管理以及生产质量档案的管理要求严格。在工艺管理方面,当前 CAPP 实现了信息管理和审签流程管理,但在工艺业务过程管理、技术状态管理和工艺配置管理等方面明显不足,难以保障产品工艺信息的完整性、准确性和一致性。

另外,当前以工艺指令纸质文件方式在生产车间中流转,通过人为方式管理来实现工艺指令的执行贯彻。这种方式难以避免地出现如加工时数控刀具出错、NC 程序出错、设备状态不对以及装配时零组件漏装错装等现象,工艺设计与工艺执行脱节,生产质量控制往往在事后处理,而不是事先预防。

因此,当前 CAPP 系统在航空制造企业中的应用停留在工艺文件编制工具的层次上,在普及工艺信息化应用方面发挥了较大作用,但在提高工艺设计质量、优化工艺、提升企

业工艺技术等方面严重不足。为了适应飞机制造工艺技术特点,满足新型飞机研制和生产的需要,飞机制造工艺信息集成系统应充分发挥工艺数据的核心作用,向应用纵深和智能化、集成化深度方向发展。

## 飞机数字化工艺技术发展趋势

为适应飞机研制生产的需要,飞机制造企业正进一步推进飞机数字化工艺技术的发展和工厂化应用。飞机数字化工艺技术的发展应集中在以下 4 个方面:

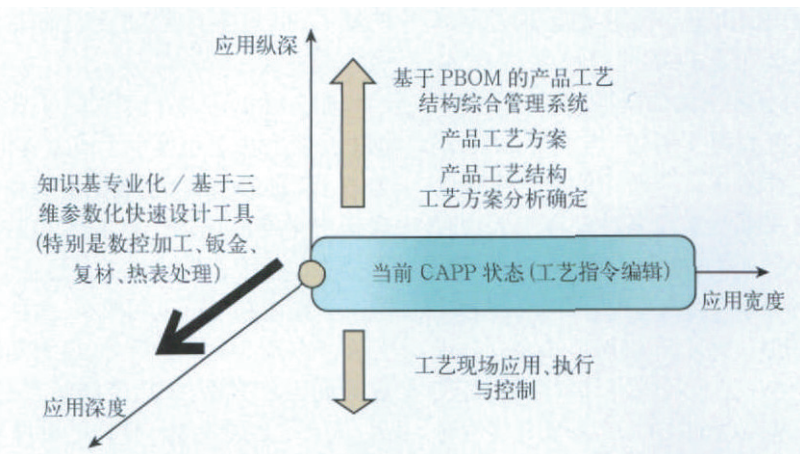
- (1) 基于三维模型的可视化创新工艺设计;
- (2) 知识基系统应用及专业化工艺设计;
- (3) 基于 PBOM 的工艺组织与管理;
- (4) 可视化工艺在线执行系统。

### 1 基于三维模型的可视化创新工艺设计

在工艺、生产准备及制造环节上充分利用产品三维模型,实现产品、工艺、工装、制造以及检测调试等数字量的传递和贯通,已成为各航空企业的共识。

装配工艺设计的合理性、正确性直接影响产品质量、生产组织效率、航空产品成本及制造周期等。基于二维图形的装配工艺设计,极容易疏漏关键环节且不易复查更不容易纠正,已经远远不能满足新产品研制生产的要求,且与产品设计形成了技术发展的不协调。产品装配三维工艺设计直接应用产品设计和工艺装备设计三维数模,合理规划装配流程并进行装配仿真,最大限度地发现设计错误和不协调问题,有利于设计问题的早期暴露和解决,可以大幅度缩短研制周期和研制成本。

飞机零件结构复杂,零件加工过程通过文字描述和二维工序图相结合。采用二维简图难以清晰描述复



CAPP技术的发展趋势

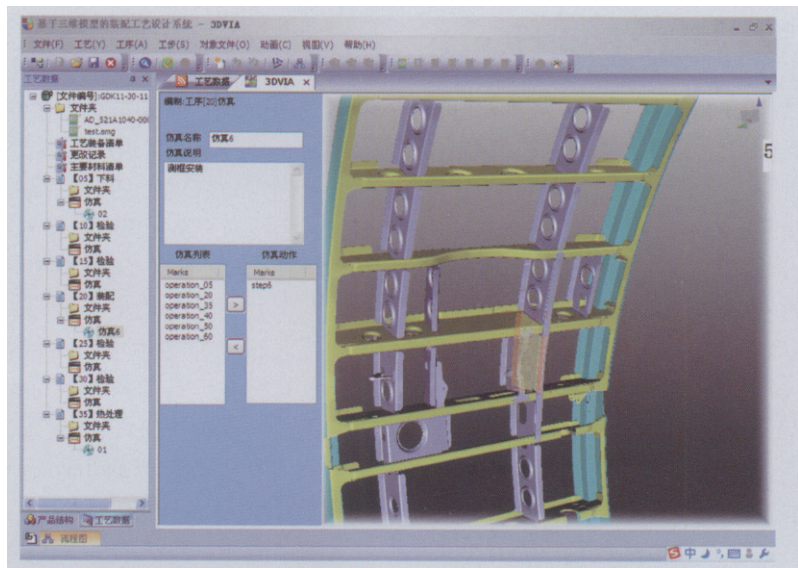
杂飞机结构件、钣金件的加工过程,往往造成误解和遗漏,不便于工艺人员的工艺编制和操作工人的理解执行。

基于三维模型的工艺设计必然带来工艺应用模式的重大变化。在基于三维模型的工艺设计系统中,工艺的表现形式为结构化工艺和三维工艺过程模型等,而不是现有纸质形式的生产性工艺文件。工艺人员通过计算机浏览和查询三维产品模型,并利用三维制作工具制作可视化工艺过程。

利用三维模型实现高效、合理工艺设计的切实可行的系统实现方案是:

(1) 装配工艺采用产品模型轻量化工具进行轻量化处理,然后利用装配过程制作工具按照装配规划和装配路线制作装配过程,最终形成装配工艺模型,并建立与结构化装配工艺信息的互联。例如针对飞机部件装配 AO 的设计,成飞公司在结构化工艺设计系统中集成 3DVIA Composer 作为装配工艺过程制作工具,实现 AO 结构化工艺与基于三维模型的轻量化装配过程模型紧密结合,实现了可视化装配工艺设计和现场可视化装配。

(2) 对于零件工艺,充分利用数控加工仿真系统、钣金加工仿真系统、铸造工艺仿真系统或者 CAD/CAM 系统等,实现与其集成,传递工艺技术参数信息,并引入机床设备和工艺装备的三维模型,利用工艺仿真过程和仿真结果,作为零件加工工艺过程模型。工艺仿真系统可以尽早发现问题,更好地优化工艺过程,把从基于经验的工艺设计管理转为基于数字化仿真验证的工艺设计管理,可以改变当前的工艺设计工作主要依靠经验传承和实际试验,而自主创新能力却非常薄弱的状况。如铸造工艺人员可以依据产品三维模型在计算机上模拟浇注过程,自动产生



基于三维模型的工艺设计

浇口冒口的位置和数量,甚至完成整个浇注模的设计。

## 2 知识基系统应用及专业化工艺设计

工艺设计是产品信息、企业制造资源与能力信息、工艺专业知识和经验知识以及进度成本要求等各种信息的汇集。工艺设计过程中需要综合各方面因素进行决策规划。

知识处理和管理技术是实现工艺决策的可行途径。通过总结归纳制造工艺设计管理过程中用到的制造资源信息、材料信息、工艺技术和经验知识,建立结构化工程知识模型和知识库,实现工程知识管理系统,并提供知识搜索、知识检索查询、基于知识的决策支持等功能,通过网络环境为工艺决策过程提供信息、知识、分析和决策依据等。

正如前文所述,当前 CAPP 应用主要是在一个通用的交互设计工具的基础上实现各种专业工艺规程及指令文件的编制,缺乏对各个工艺专业固有特性的考虑。因此,随着应用的进一步深入,必然要求充分分析各专业工艺设计特点和特色需求,在知识基系统的支持下,开发并实现各专业的工艺设计和管理功能。如在

成飞公司数控中心,针对飞机结构件框、梁、壁板等类零件结构复杂、有很多复杂槽腔和筋条,具有很高的数控加工要求,在开发和应用了基于特征的智能化工艺决策、自动化数控编程和数控加工仿真功能后,大大提高了工艺设计、数控编程的效率和质量。

由于新型飞机中大量使用复合材料结构件,复合材料结构件的加工工艺技术亟待提升和积累。应用知识基系统和复合材料专业化工艺设计工具无疑将有力促进复合材料结构件加工工艺技术的提升,增强新型飞机的研制生产能力。

## 3 基于 PBOM 的工艺组织与管理

PBOM 是组织和管理工艺数据的核心,但当前 CAPP 还没有完全做到这一点。

在三维工艺设计模式下,工艺数据的形式和内容也发生了很大变化,为基于 PBOM 的工艺数据组织和管理提出了新的要求。零部件的工艺数据除包括工艺结构化工艺信息、三维工艺模型和工艺过程模型、各种工艺文件以及 MBOM 等外,还需其他数据如工艺方案、制造资源信息(机床、毛坯、工装夹具、刀具)、数控程序、刀位文件等,还可能包括图片、

动画等多种媒体形式数据。这些数据围绕 PBOM 和工艺结构数据进行组织和关联。同时工艺数据的版本、版次、有效性及技术状态信息十分重要,必须与业务过程管理相结合,实现工艺数据技术状态信息的管理,这样才能通过产品工艺配置,形成产品完整准确地工艺信息和 MBOM 信息。

与企业 PDM 系统结合,针对飞机制造工艺的车间和公司两级管理模式,实现工艺业务过程管理,实现工艺业务(包括 PBOM/MBOM 管理、工艺分工、材料定额、工艺装备需求、车间工艺技术准备、NC 程序和工艺仿真等)有序控制和网络化电子审签。

基于 PDM 系统和三维模型轻量化和浏览工具,建立异地协同工作平台,实现产品设计与产品制造的协同。基于三维产品模型或轻量化模型,实现产品设计模型的异地浏览,

进行产品可制造性分析。

#### 4 可视化工艺在线执行系统

在现有工艺现场应用条件下,因人为因素影响,工作失误时有发生。如在零件加工时工装刀具使用错误、NC 程序下载错误、加工设备状态不正确等;在装配时错装、漏装现象等。这是由于工艺设计与工艺执行过程严重脱节,缺乏工艺执行力度和有效控制管理,工艺可理解性和指导性较差,操作人员往往根据经验和个人理解进行操作,没有严格按照工艺参数和技术要求进行作业,产品质量难以用工艺保证。

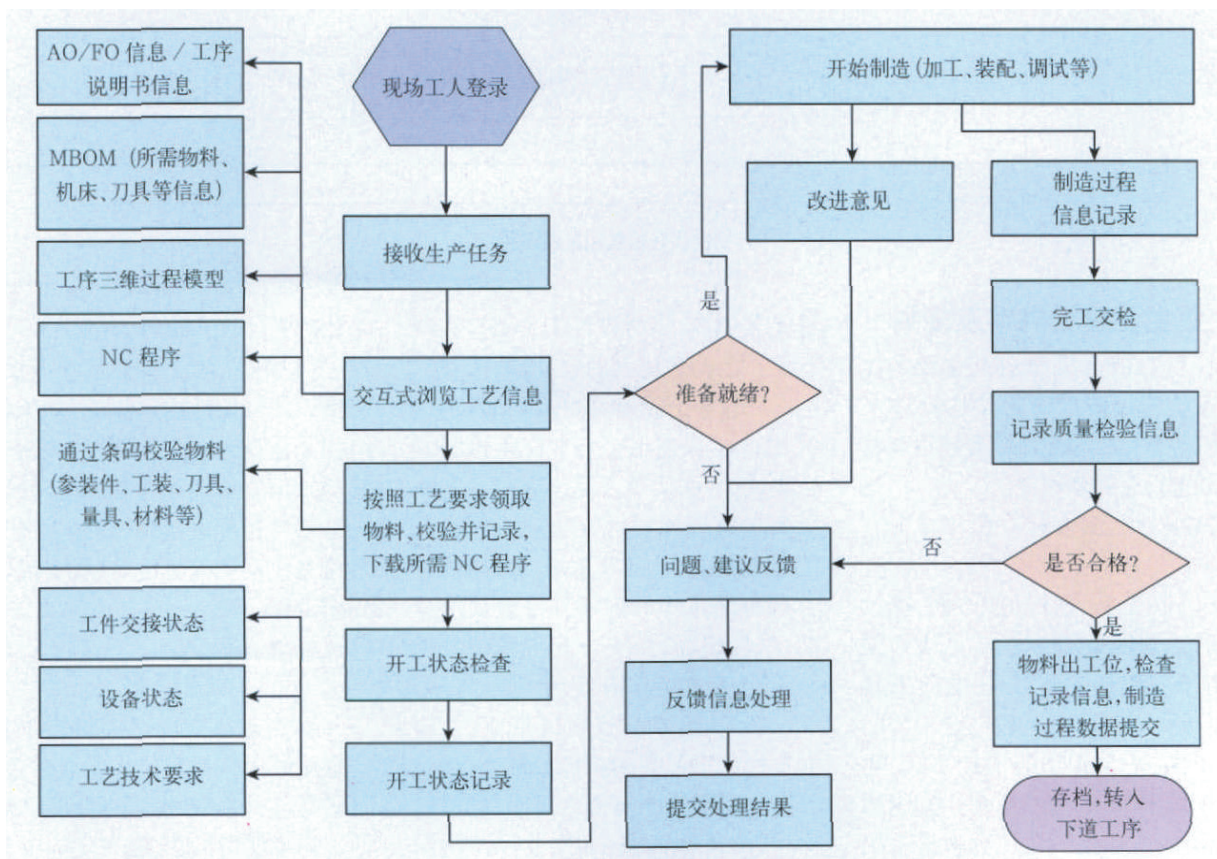
另一方面,生产现场工艺执行状态和过程控制缺乏有效监督,生产过程中的进度、技术状态和质量管控等信息不能被及时有效地获取并反馈到调度部门。

管理人员往往通过现场查看和调度协调会来了解进度、调整任务,控制粒度粗放,无法满足高质高效的

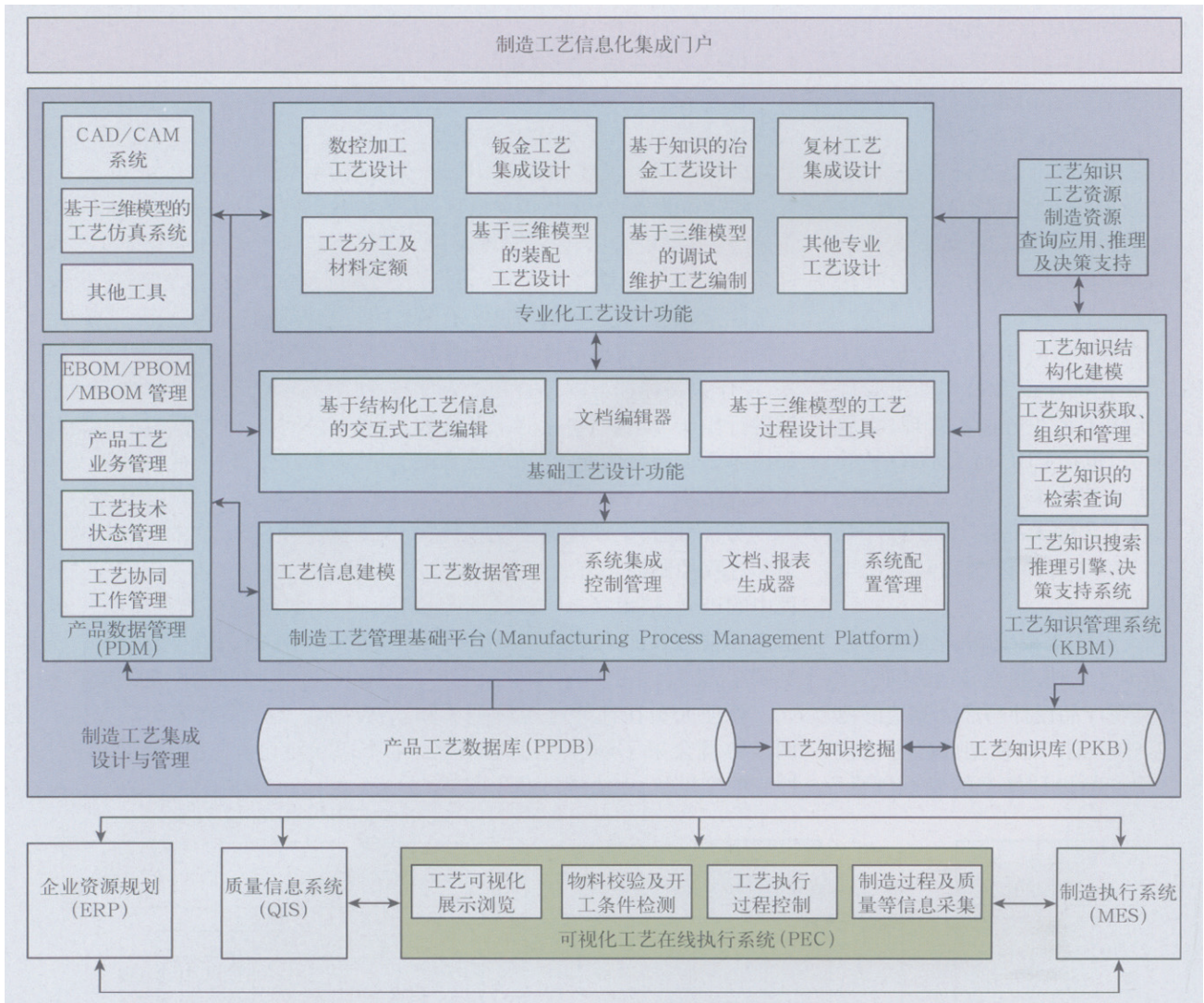
生产要求。

开发和应用可视化工艺在线执行系统,利用基于三维模型的工艺信息,通过三维可视化工艺过程模型或动画引导、控制操作人员进行生产。将条码技术应用于制造执行过程,严格工艺执行要求,强化对工艺执行过程的控制(包括工艺装备检查和校验、物料检查和校验、开工条件检查、NC 程序下载等),对于关键工步,可利用工步提示信息和警示信息及实践中总结出来的经验技巧,对操作人员进行具体指导,从而从源头上杜绝了人为事故的发生,并且充分发挥了三维可视化工艺对新员工的示教作用。

二维条码具有可靠性高、信息容量大、纠错能力强、印刷简便、成本低廉、可用多种阅读设备阅读和不需数据库支持等诸多优点。在工艺执行系统中建议使用二维条码。



可视化工艺在线执行系统工作流程



企业工艺信息化发展规划

### 企业主要建设内容及规划

针对当前飞机制造企业数字化工艺系统应用情况和发展需求,本文对飞机数字化工艺系统主要建设和总体规划进行了初步研究。

该规划突出表现在以下4个方面:

(1) 在工艺设计功能方面,提供通用的结构化工艺设计、工艺文件编辑、基于三维模型的工艺设计工具等。以此为基础,针对各专业工艺的特点,集成基于知识的设计工具、建立专业知识库、实现专业基于知识的设计,集成专业化工艺仿真工具系统(如数控加工仿真、钣金加工仿真、铸

造工艺仿真、复材设计工具等),实现专业工艺的优化创新设计。

(2) 整个企业采用统一的制造工艺管理基础平台和PDM系统紧密集成,共同实现产品工艺信息的全生命周期管理(包括工艺数据管理、工艺业务管理、工艺技术状态管理、工艺协同工作管理等),管理层次分明、结构清晰,保障产品工艺信息的准确性、完整性和有效性。

(3) 与MES等系统集成,并建立可视化工艺在线执行系统,实现工艺在生产现场的可视化显示、物料校验、开工条件检查、工作过程控制和制造过程及质量信息采集,有效提高

工艺的指导性和执行力度。

(4) 建立企业级工艺知识系统,提供工艺知识结构化建模、知识获取组织和管理维护、知识的检索查询、基于知识的培训和考核、基于知识的决策支持和专家系统等,并实现与工艺信息化系统等集成应用,实现企业知识工程。

### 结束语

本文通过分析飞机制造业工艺信息化技术应用现状和发展需求,对飞机数字化工艺技术的发展趋势进行了初步探讨,还需要在实际工程中进一步深入和梳理。(责编 王龙)