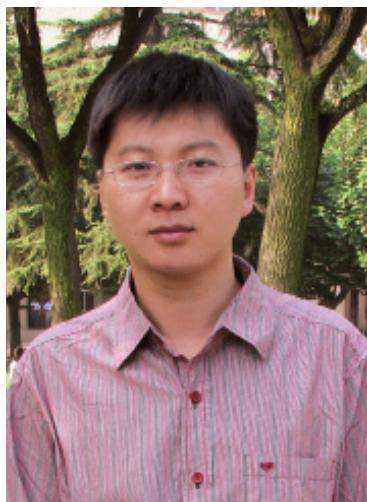


# 飞机钣金零件数字化制造系统 及其应用\*

Digital Manufacturing System for Aircraft Sheet Metal Component  
and Its Application

西北工业大学 刘闯 王俊彪  
洪都航空工业集团公司 黄俊勇 熊杰



刘闯

西北工业大学机电学院讲师, 博士。主要研究领域为数字化制造技术, 具体研究方向包括: 飞机钣金数字化制造系统, 复杂零件制造模型定义, 航空钣金工艺数据库等。

在飞机制造工程中, 钣金零件制造是重要组成部分。框肋、蒙皮、壁板等典型钣金零件构成飞机机体的框架和气动外形, 钣金制造技术的发展对提高飞机性能、加快飞机产品发展、降低飞机研制费用具有重要意义。数字化是现代航空制造技术的一个重要特征<sup>[1]</sup>, 是飞机钣金制造技

术发展的趋势。飞机钣金制造技术发展的趋势, 飞机钣金制造知识库是开发钣金件数字化制造集成技术的基础。飞机钣金零件种类繁多、结构复杂, 既具有共同的生产特性, 又具有各自的制造特点。

术发展的趋势。飞机钣金零件类型多、所用材料种类多、结构复杂、工装品种多、成形方法多、影响成形的因素多, 钣金零件数字化制造的最大难点不在于设计后结构模型的向下传递, 而更多的是由于塑性成形物理过程的非线性造成的不唯一性、不可逆性等所引起的工艺上的不确定性<sup>[2]</sup>。数字样机技术的发展促进了零件数字化定义技术的发展, 解决了零件最终形态之间的装配协调问题。但对于钣金零件在加工过程中工序件数字化定义及数据管理(如与模具设计相关的零件模型修正、与成形有关的工艺余量与结构要素设计、与毛料相关的毛坯展开计算等), 尚未形成相应的技术体系。由于钣金零件及工艺的特性, 钣金制造是一个知识需求密集的过程<sup>[3]</sup>, 钣金工艺、工装设计在许多情况下是依赖于经验知识来解决问题的<sup>[4]</sup>。数字化制造技术不但要解决产品、工艺和工装等信息的

数字化表达, 更重要地还要解决如何重用已有知识设计这些模型<sup>[5]</sup>。因此, 钣金数字化制造系统的构建不仅在于 CAD、CAE 等商品化软件的引入和应用, 更为核心的任务是针对钣金零件及制造的特点, 建立钣金工艺知识库, 并在此基础上开发数字化定义工具, 进行综合应用和集成优化, 这是提高飞机钣金制造技术水平, 解决钣金制造周期长、质量不稳定的有效途径。在此背景下, 本课题连续开展了飞机钣金数字化制造系统的研究和应用, 并给出了飞机钣金制造系统的体系结构和钣金制造知识型谱图, 同时说明了在企业中的应用。

## 飞机钣金数字化制造系统设计

飞机钣金数字化制造系统体系结构如图 1 所示, 分为环境层、数据层、应用层和门户层。环境层包括计算机软硬件和钣金件数字化制造标准规范。数据层包括数据的存储和

\* 国防基础科研项目(D0620060428)资助。

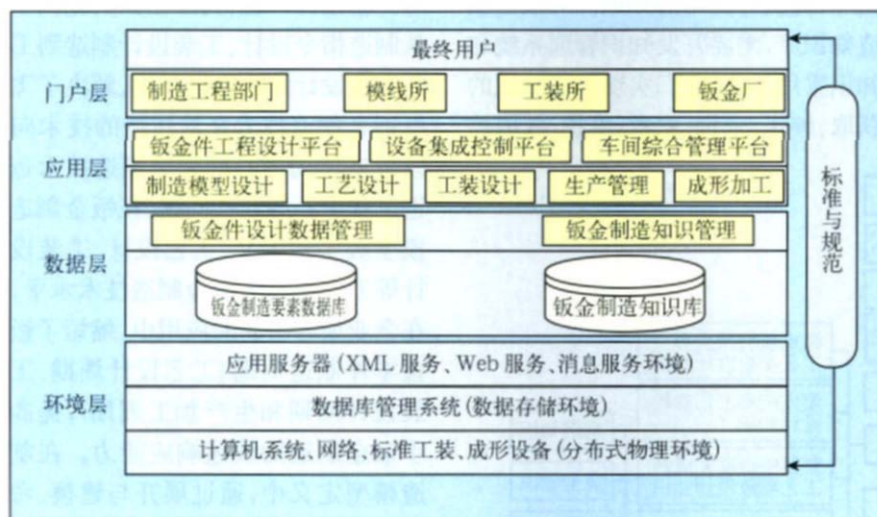


图1 飞机钣金数字化制造系统体系结构

数据的管理,对钣金制造知识采用数据库进行管理。应用层面向飞机钣金零件制造全过程,包括以钣金零件制造要素信息定义为核心的专业应用和集成应用。门户层为各业务部门提供钣金制造的门户服务与统一业务活动入口。

制造信息的定义、管理和传递是数字化制造的本质。飞机钣金零件数字化制造基于钣金制造的规范、方法、工具和设备,围绕钣金零件制造过程的制造模型、制造指令、工装模型、设备控制指令、钣金工艺知识等各种信息均以数字形式表达,通过网络在工艺、生产等各业务部门内传递,对面向制造全过程的零件信息、工艺信息与资源信息进行分析、描述、规划与仿真,控制零件、工艺、工装、设备等,完成钣金零件制造全过程。对于飞机钣金零件数字化制造过程主要从信息流的角度来描述,以信息过程驱动钣金制造的物理过程。

#### (1) 钣金制造信息分类

钣金制造过程中的信息分为钣金零件制造要素信息和钣金制造知识两大类。钣金零件制造要素信息是指制造过程中的各类设计信息,包括制造模型、工艺、工艺装备等信息,属于生产性数据。为了描述钣金加工工艺过程中的工序件信息,提出了

飞机钣金零件制造模型的概念。钣金零件制造模型采用系统观点,沿着工艺链组织零件工序件模型信息,如下料工序的毛坯模型和排样模型、成形工序的成形工件和成形工艺模型。钣金制造知识是支持零件信息定义的各类知识,属于支撑性数据。由于钣金制造要素信息的多样性以及钣金成形工艺本身的特点,钣金制造是“知识需求密集”的过程,钣金制造知识具有种类多、经验性、复杂性、数量多等特性。

#### (2) 钣金制造信息管理

制造模型、工装和工艺数据采用产品数据管理系统进行统一管理,以钣金零件制造模型为核心实现钣金零件制造过程中零件制造信息的获取、表达和应用系统的集成,工艺设计和工装设计子系统的设计人员可以从中抽取领域信息建立模型;知识库管理系统存储了飞机钣金零件制造涉及各类型知识以及标准、规范,各应用系统通过集成接口获取知识,实现钣金数字化制造中各类工程设计问题的智能决策,支持钣金制造要素信息的数字化定义。

#### (3) 钣金制造信息定义与传递

由于飞机钣金制造工艺种类多,经常使用适合某一类零件成形的专用设备(如橡皮囊液压成形等),因

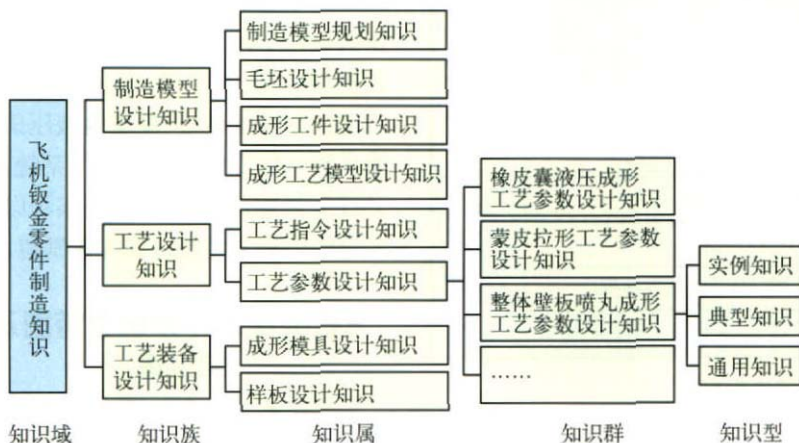
此,针对每类工艺均需建立专门的制造要素信息定义方法。通过突破复杂曲面展开、工艺知识建模等关键技术,开发工艺知识的分布式应用和制造要素信息的数字化定义系统,如整体壁板数字化展开、框肋零件成形工艺模型定义、基于Web的钣金零件制造指令设计系统、橡皮囊液压成形模具数字化设计系统等应用系统,定义钣金制造要素信息,从而实现以数字量传递到工装制造和零件制造。

### 飞机钣金制造知识型谱图及知识库

飞机钣金件制造具有典型的经验性,钣金件制造是知识需求密集的过程,包括工艺指令设计、毛料确定、模具设计、工艺参数设计等都依赖于经验和知识。企业在长期钣金制造实践中积累的大量知识是企业最为重要的资源,这些资源的有效积累、管理和使用既是钣金数字化制造技术发展的需要,也是企业和行业可持续发展的需要。飞机钣金制造知识库在整个钣金数字化制造中处于最为基础的地位。

建立飞机钣金制造知识库,首要问题是刻画飞机钣金制造知识的组成,建立知识的模型。知识的功能体现在问题求解过程中,对于每个钣金制造问题求解需要一定范围的知识。钣金制造问题分解为多个相互联系的问题,对应的钣金制造知识是由处于知识空间中相对独立的知识子系统组织起来的有机整体,是一个具有多层次结构的复杂知识系统,每个层次都包含不同种类的知识。以整齐划一的标准,经过若干中间层次把领域知识划分为不同的种类,直至分解为基类的知识型,形成知识阶元模型,本研究中称之为型谱图。“阶”反映了知识系统的层次性;“元”反映了层次内的知识组成。建立知识型谱图的关键在于分类标准的选择。本文先按工程应用粗分类,划分为两

个层次,分别称为族和属;再按工艺  
 细分类,称之为群;最后按知识所包  
 含信息的抽象程度分类,称之为型,  
 如图2所示。



(1)域:飞机钣金零件制造问题  
 求解知识的整体。

(2)族:钣金制造系统包含制造  
 模型、工艺和工装3类制造要素,把每  
 一类要素设计知识的全体划分为族。

(3)属:对于每一族知识,按照  
 设计原子型要素信息实体的原子问  
 题进行分类,如:工艺设计知识划分  
 为工艺指令设计属知识、工艺参数设  
 计属知识等。

(4)群:对原子型要素设计知  
 识,按照钣金工艺再细分,如工艺参  
 数设计属知识划分为橡皮囊液压成  
 形工艺参数设计群知识、蒙皮拉形工  
 艺参数设计群知识、型材拉弯工艺参  
 数设计群知识等。

(5)型:按照知识的求解对象信  
 息的抽象程度进行分类,型是知识分  
 类的基本单元,各型知识元也就是知  
 识使用的基本单元。分为三类:实例  
 型知识、典型知识和通用型知识。

按照知识型谱图,分析组成基本  
 类型制造知识的信息组元之间的关  
 系,建立记忆结构模型,将钣金制造  
 知识变成由制造要素信息及关系组  
 成的结构,使知识和信息能够在数据  
 层次中表示出来,建立知识资源不断  
 积累和演化的开放式存储知识的数

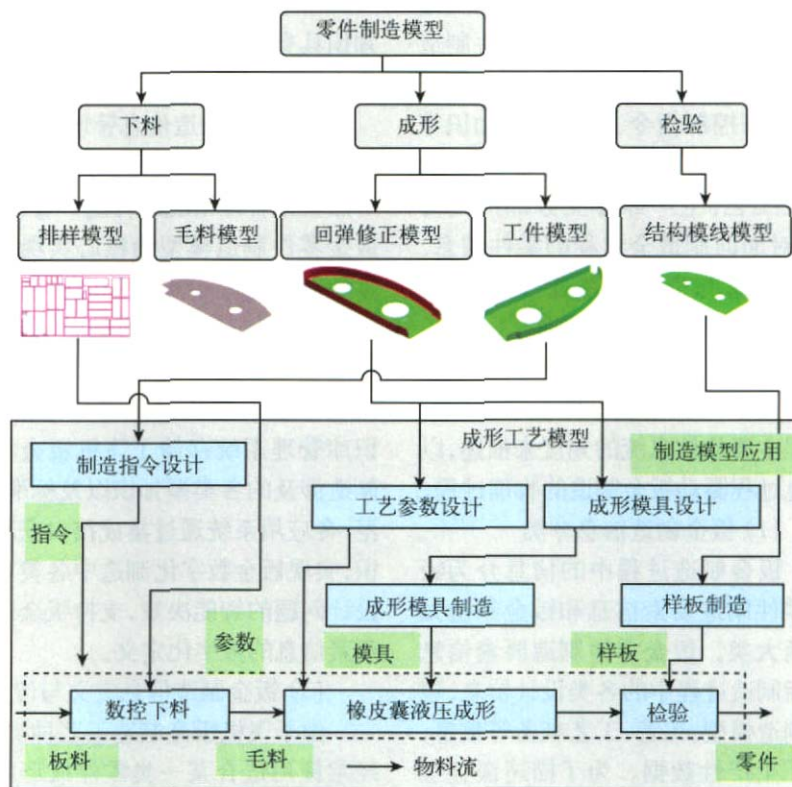
据库,提供可重用的知识。对钣金制  
 造知识库,需要开发知识管理系统和  
 知识重用工具,它们实现工艺知识的  
 获取、编辑、查询、检索、维护、权限控

制等功能,并与钣金件数字化定义工  
 具共同构成钣金件工程设计系统。

### 飞机钣金数字化制造系统应用

通过面向制造过程各阶段的飞  
 机钣金零件数字化技术研究和应用,  
 建立了钣金制造知识库和基于知识

的工程设计平台,为工艺人员提供了  
 从制造指令设计、工装设计制造到工  
 艺参数设计的数字化环境,解决了飞  
 机钣金制造技术在从传统的技术向  
 以数字化为核心的先进制造技术迈  
 进过程中一些共性问题,在钣金制造  
 模型数字化定义、工艺设计、工装设  
 计等方面提高了钣金制造技术水平,  
 在企业型号研制的应用中,缩短了钣  
 金零件制造周期(工艺设计周期、工  
 装设计周期和生产加工周期),提高  
 了钣金制造快速响应能力。在制造  
 模型定义中,通过展开与建模、考  
 虑成形模具设计中的回弹等因素建  
 立用于模具设计的工艺数模,钣金零  
 件各种几何数据、工艺数据的准确性  
 主要依靠于算法的稳定性和准确度,  
 减少了人为不确定因素的影响,提高  
 了钣金制造的外形准确度和精度。  
 飞机钣金制造知识库的构建为钣金  
 制造技术的发展奠定了良好的基础,  
 既满足了企业当前对制造技术的需  
 求,也是数字化条件下航空钣金制造  
 技术长远发展的需要。



### 1 钣金零件信息传递从模拟量转变为数字量

高的制造精度和协调精度是飞机钣金零件的制造要求。通过采用制造模型定义技术,对钣金零件加工过程各阶段的特征和各阶段几何模型及有关属性进行数字化定义,解决了钣金零件数字定义模型的传递、协调和管理问题,实现了钣金零件制造从模拟量传递向数字量传递的转化。

如图3所示,制造模型为加工过程中的每一个工序提供精确的数字化几何模型,直接传递数字量,模线、样板、标准样件已失去以往作为标准原始制造依据的作用,样板、模胎本身的基础模型是统一的数字模型,而且加工用的模型也直接来源于数字模型。因此,减少了尺寸链,消除了数据传递中间环节引起的误差,从而提高钣金零件的制造精度。

### 2 工艺设计由经验型设计为主转变为基于知识的智能化设计为主

钣金制造知识库是在对企业钣金工艺设计过程进行大量调研的基础上,对钣金工艺知识进行分类和建库存储,包括钣金制造领域本体数据,在此基础上形成制造指令设计知识、各种成形工艺参数设计知识、成形模具设计知识等内容。基于Web的分布式环境便于工艺人员查阅、选用、修正和不断积累。

当前本研究重点对钣金铝合金材料数据、钣金工艺术语、钣金制造指令设计知识等知识建库,提供了工艺设计的知识平台,使企业中工艺人员的经验知识和相关的标准规范以数字化的形式得到积累和重用,在工艺设计过程中通过输入零件信息直接检索典型流程、典型工序、草图、工艺装备等信息,设计人员只需少量修改即可完成制造指令的编制,使企业工艺设计从经验型转变为基于知识库的智能设计方式。

### 3 数字化技术应用从单项技术转变为网络化全过程集成应用

如图4所示,以企业网络为基础,将应用系统、软件工具和数据库等整合为统一的平台,使制造形成三个具备高度整合的信息环境,各个平台系统通过数据接口相连,完成对制造过程集成数据的交换及协调传递。运用基于网络的分布式集成平台技术,将飞机钣金件制造模型数字化定

用,构建了钣金制造系统,提高了飞机钣金零件质量、降低了成本、缩短了周期。从应用和工艺2个方面,本研究当前所建立的钣金制造知识库还需进一步扩展,开发出基于钣金工艺数据库的钣金制造工程软件工具,以支持各类钣金件制造的全过程和精确成形,实现钣金制造的数字化、

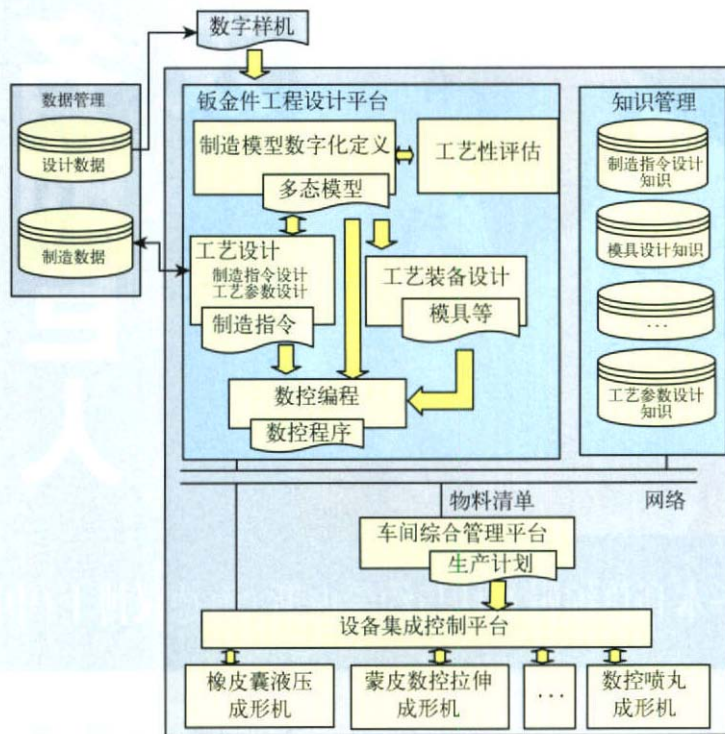


图4 飞机钣金零件数字化集成制造过程

义、工艺设计、模具设计与制造等数字化技术在橡皮囊液压成形、蒙皮拉伸和大型整体壁板喷丸成形加工中进行了集成应用,实现了单项数字化技术应用向集成化系统应用的转变。

### 结束语

数字化是飞机钣金制造技术发展的趋势,飞机钣金制造知识库是开发钣金件数字化制造集成技术的基础。飞机钣金零件种类繁多、结构复杂,既具有共同的生产特性,又具有各自的制造特点。本课题适应飞机钣金制造的特点和技术发展要求,设计了飞机钣金零件数字化制造系统,建立钣金制造知识的型谱图和知识库。该技术已在某航空企业初步应

智能化和集成化。

### 参考文献

- [1] 杨叔子,吴波. 先进制造技术及其发展趋势. 机械工程学报, 2003, 39(10): 73-78.
- [2] 王俊彪. 飞机钣金数字化制造及关键技术研究. 西安: 西北工业大学, 2004.
- [3] 刘闯. 面向飞机钣金数字化制造的知识重用方法研究与应用[D]. 西安: 西北工业大学, 2007.
- [4] 熊火轮,胡世光. 板料成形中的计算机辅助技术. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1994.
- [5] Hicks J, Allen R D. A framework for the requirements of capturing, storing and reusing information and knowledge in engineering design. International Journal of Information Management, 2002, 22(4): 263-280.

(责编 钟元)