

航空钣金件数字化集成制造系统 构建与应用*

宋利康¹,朱永国^{1,2},徐 龙¹,付 彬¹

(1. 中航工业江西洪都航空工业集团有限责任公司,南昌 330024;
2. 南昌航空大学航空制造工程学院,南昌 330063)

[摘要] 钣金件数字化制造是航空产品制造数字化的基本组成部分。为满足现代航空产品研制对钣金件制造能力的需求,实现航空钣金件从传统制造模式向数字化制造模式转变,以工艺数据库为核心,数字化技术为手段,基于知识的设计方法为辅助工具,构建了以制造模型定义和工艺数据库为基础的钣金件数字化制造方法与集成制造技术体系,建立了钣金件数字化制造系统,适应了航空产品数字化制造技术的发展要求。

关键词: 钣金件; 数字化模型; 知识; 数据库

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2016.13.034



宋利康

博士,研究员级高工,中航工业江西洪都航空工业集团有限责任公司副总工程师、中国航空工业集团公司特级专家,从事飞机研制数字化技术研究。

钣金件在航空产品研制中处于重要地位,钣金件制造是影响航空产品研制周期和质量最主要的因素之一,如某型号教练机约有 8000 项零件,钣金零件就有 4800 多项,钣金件工艺装备达到 4000 多套。近年来,数字化技术在航空企业得到越来越广泛的研究和应用,成为提高飞机研制水平的重要手段^[1-3]。钣金件数字化制造是航空产品制造数字化的基本组成部分,是缩短钣金件制造周期、降低制造成本、提高航空产品质量的有效途径。波音、法宇航等企业采用数字化技术进行钣金件制造,自动化程度高、手工敲修工作量小、质量稳定、废品率低、精度高、周期短^[4]。目前我国也已初步开展钣金件数字化技术研究,并取得了一定成效^[5-6];但这些技术主要是针对零件本身的定义,对于钣金件在制造过程中所需的造型和集成没有形成相应的技术体系,各阶段

模型信息之间缺乏关联性,缺乏统一的数字化集成制造平台。为满足当代航空产品研制对钣金件制造提出的高精度、高质量、高效率等要求,应加强工艺基础的研究,注重工艺知识的积累和重用,建立基于数值模拟的模具设计平台,实行钣金件模型的数字化传递;采用系统化的协同制造模式,构建钣金件数字化制造技术体系结构,完善和深化钣金件数字化集成制造技术。

航空钣金件数字化集成 制造系统构建

面向钣金件制造全过程,应用成形工艺技术和数字化技术,建立存储数字化工艺数据库,以钣金件产品和制造过程数字化信息的定义、管理和应用为主线,构建基于制造模型定义和工艺数据库的钣金件数字化制造技术体系,建立如图 1 所示的航空钣金件数字化集成制造系统。实现钣

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51565042), 江西省科技支撑计划(20133BBE50022, 20143ACE50008), 江西省自然科学基金项目(20142BAB206023), 江西省博士后科研项目择优资助(2015KY03), 南昌市科技支撑计划(2014HZZ004)。

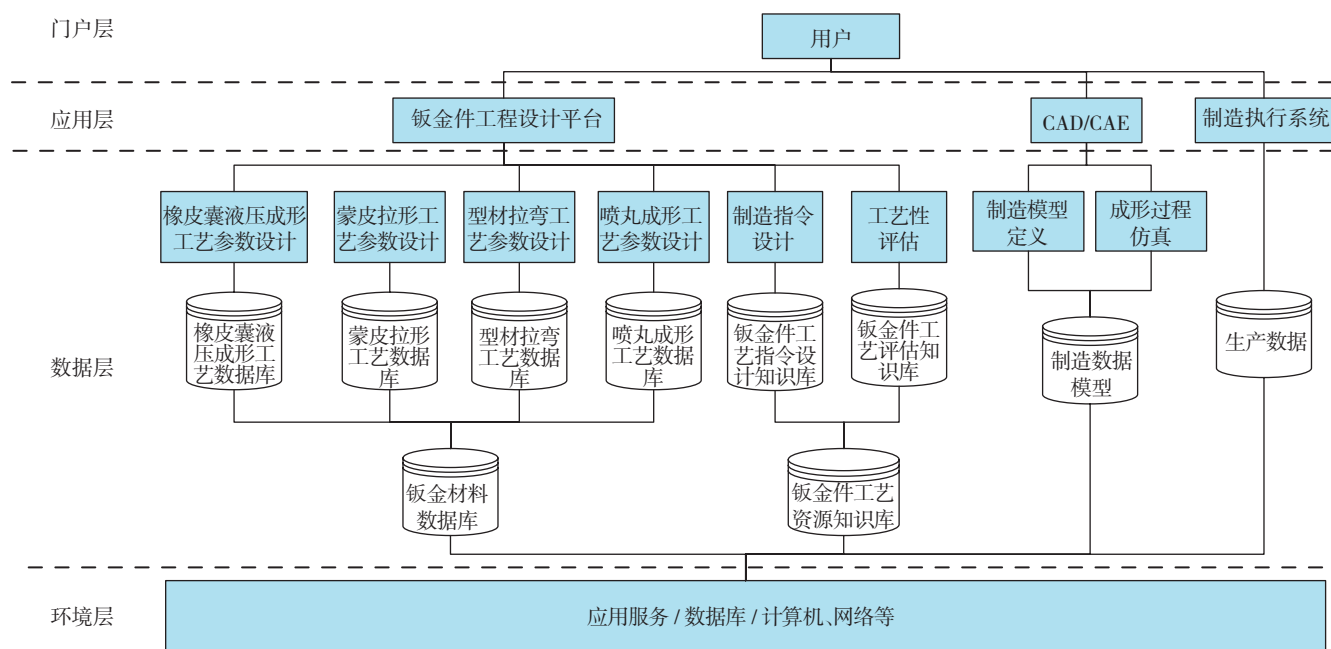


图1 钣金件数字化集成制造系统

Fig.1 Digital manufacturing system of sheet metal part

金件制造模型数字化定义、数据库构建、知识的挖掘与利用和成形加工中各种信息的集成化。钣金件数字化集成制造系统分为环境层、数据层、应用层和门户层共4个层级。

(1)环境层。钣金件数字化制造标准规范是保障钣金件数字化制造过程的基础条件,包括橡皮囊液压成形、数控拉形、喷丸成形和数控拉弯成形工艺规范和钣金件工艺数据管理与集成应用的标准。

(2)数据层。钣金件制造过程中的信息分为两类:一是动态的生产数据,包括钣金件多态模型、工艺指令和工装模型等;二是静态的钣金件工艺数据,包括材料、工艺参数、工艺设计知识等。按照信息类型建立数据管理标准与规范,采用集中的存储和管理方式,确保钣金件制造信息的唯一性、协调性和安全性,实现钣金件工艺数据资源的应用和不断发展。

(3)应用层。对钣金件制造过程中的数字化定义、工艺设计、工装设计制造、成形加工等各环节的业务流程进行分析和改进,建立起以钣金

件制造信息模型为核心的制造流程,实现钣金件模型定义、成形工艺设计、模具设计、数字化仿真以及车间生产管理的数字化和集成化。

(4)门户层。基于Web的集成平台为制造过程各业务部门提供统一的门户服务,工程技术人员通过登录集成平台,就能一站式进行各自业务的全部活动。虽然不同的企业中钣金件制造的业务部门划分及分工有所不同,但涉及的业务活动基本相同,利用业务划分,确定不同权限的用户。

要使钣金件数字化制造体系有效运行,需攻克钣金件数字化定义技术,构建钣金件制造数据库,实现钣金件工艺知识积累和重用,满足知识需求密集的钣金件制造过程,建立数字量的传递控制方法,完成钣金件数字化制造技术的集成化和系统化。

钣金件制造模型定义

为适应现代航空产品对钣金件快速制造的要求,将数字化技术引入到传统钣金件制造的中间工序件定义、模具设计、工艺设计等业务过

程。首先,定义钣金件制造数字化模型及其内容(见图2)。采用并行协同的研制模式,设计时兼顾工艺性的要求,建立基于工艺性分析的设计方法。制造模型定义采用基于模型的定义技术,以设计模型为依据,面向钣金件制造过程,描述钣金件工艺过程中间状态的几何信息、质量控制与检验等非几何信息;其次,通过向设计模型添加面向成形工艺的结构要素或修正型面,形成成形工艺模型;然后,以成形工艺模型为数据基础,按零件与设计模型外形相符合的要求,建立成形工件模型^[7-8]。

回弹补偿工艺模型与回弹仿真

通过对钣金件回弹补偿数据的整理和存储,建立钣金件回弹补偿模型的设计知识库,辅助进行钣金件回弹补偿模型设计。回弹补偿工艺模型建立是一个不断迭代的过程,需要将钣金件成形回弹后的结果不断反馈给工艺模型,以优化工艺模型的型面。反复迭代该仿真过程,直至成形件的外形误差能够满足设计要求。

钣金件回弹补偿与工艺过程仿真可分为3个步骤:首先,构建回弹补偿工艺模型;然后,基于工艺模型数字量传递设计模具;最后,基于成形过程仿真结果优化工艺模型。

钣金件数字化制造数据库构建与应用

1 钣金件制造数据库构建

建立如图3所示的钣金件数字化制造数据库工程技术体系,通过钣金件数字化制造数据库工程服务平台,面向工艺过程设计和车间现场应用这两条主线,实现钣金件制造数据库的数字化定义、管理和应用。钣金件制造数据利用数据库集中存储和管理,采用基于制造数据库的分布式数字化方式进行定义,覆盖从工艺设

计到车间制造全过程。钣金件制造数据库的内容、定义、管理和应用由相应的工程技术标准支撑,各类钣金件成形工艺的数字化制造过程由相应新的工艺规范支撑。

2 钣金件制造数据库优化

钣金件制造数据库需进行合理的分析与优化以保证其数据的科学性和有效性。对钣金件制造数据库整体进行分析,补充工艺种类,滤除冗余数据,保证工艺知识的一致性;挖掘已有的大量制造数据,发现工艺知识;对钣金件制造数据库中的个体,在知识使用过程中还要依据车间制造现场的反馈数据对其进行优化,形成不断完善的发展机制(见图4)。

3 钣金件制造数据库在车间的应用

是基于计算机、网络硬件和数据应用软件系统,将钣金件工艺设计信息、制造模型信息和制造资源信息整合后,以数字量形式传递到车间现场。钣金件制造指令、制造模型和工艺参数等数字量信息在车间制造现场的应用,采用以工艺链节点为核心的制造数据展示,根据CAD模型、工艺信息等不同种类信息特点,分别建立在制造现场的表现方式。钣金件制造数据在车间的应用系统根据需要在工艺链任何节点把钣金件制造工艺信息打包输出,或以通过网络或其他媒介传递到车间制造现场。通过在车间制造现场配置网络客户端,传递过来的制造数据就可以在车间制造现场展示,并在加工过程中使用。

基于知识的钣金件成形工艺设计

钣金件成形工艺设计经验性强,知识积累时间长,在工艺决策的过程中积累和重用知识,对于提高钣金件成形工艺的设计效率和设计质量具有显著的作用,也是企业和行业可持续发展的长远需要^[9-10]。为此,建立如图5所示的基于知识的钣金件制造指令设计方法,将人工智能、基于知识的工程技术引入钣金件制造领域,与数字化应用系统相结合,改进传统钣金件成形往往依靠设计人员个人经验,设计过程中反复修改、设计效率不高的不足。对于知识需求密集的钣金件制造,新的数字化技术工具需要提供在复杂、动态、迭代的制造过程工艺数据的积累、重复使用方法以及提供不同的应用服务,以提高钣金件制造的科学性,以防止错误的发生,减少成本和开发时间。

钣金件制造过程的数字量传递与控制

飞机钣金件制造过程中涉及复杂的几何模型转移,传统技术中需要借助于样板、模具、装配型架等实现

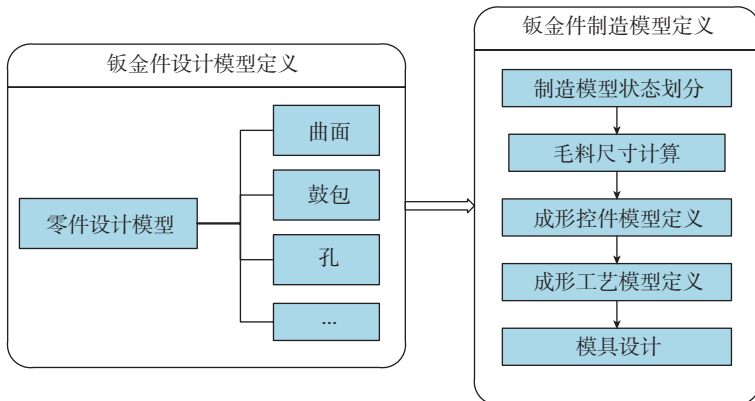


图2 钣金件制造模型数字化定义

Fig.2 Digital manufacturing model definition of sheet metal part

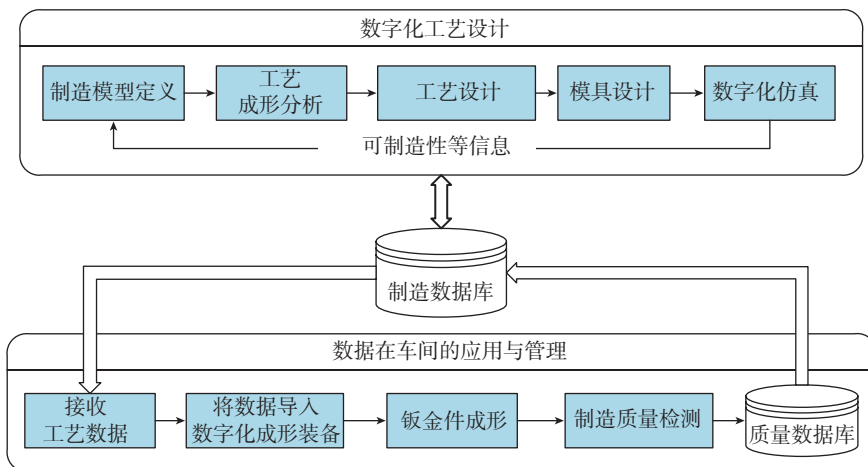


图3 钣金件数字化制造数据库技术体系

Fig.3 Digital manufacturing database technology system of sheet metal parts

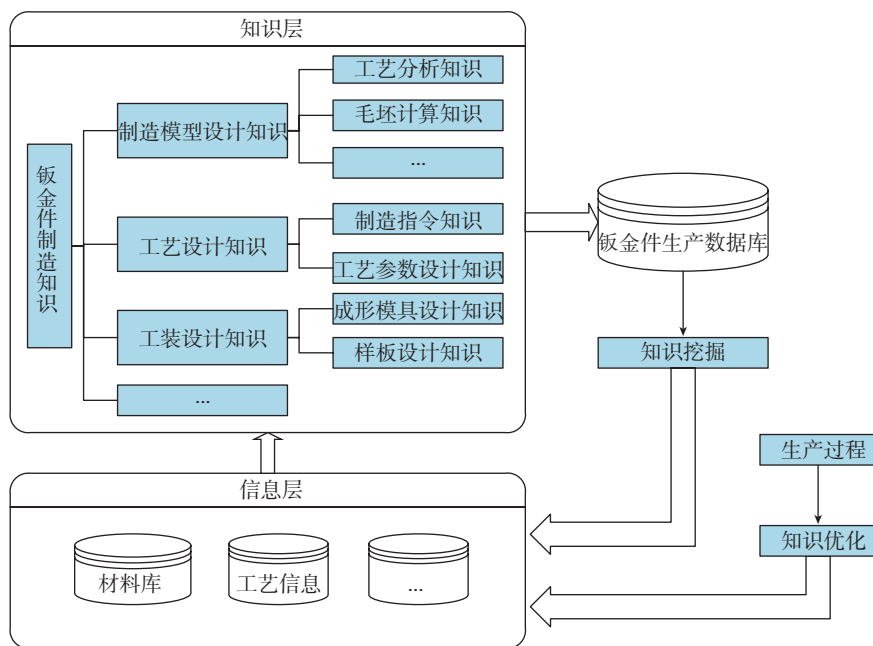


图4 钣金件制造数据库分析与优化

Fig.4 Analysis and optimization of sheet metal parts manufacturing database

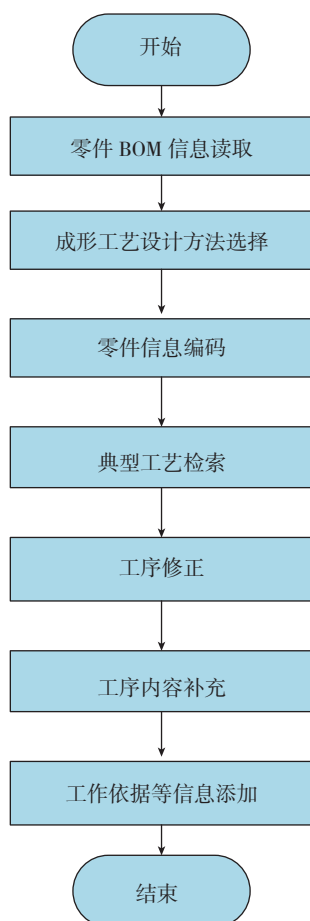


图5 基于知识的钣金件制造指令设计
Fig.5 FO design for sheet metal parts based on knowledge

零件制造、装配、质量控制。例如，框肋类零件以外形、展开样板为制造、检验依据，管材等以标准实样为制造检验依据，蒙皮零件以切面样板或模胎为制造检验依据。目前，在众多的新型号研制中，已经建立了全机数字样机，但钣金件制造过程采用的仍是以模拟量与数字量并存、以模拟量为主的传递体系。靠模拟量传递的模线样板和标准样件等协调方法最突出问题是钣金件制造过程环节多，尺寸转换和传递过程的路线长，积累误差大，严重影响了制造精度的提高。通过在钣金件制造过程中应用数字化技术，重组业务流程，定义钣金件制造过程各阶段的几何模型及其有关属性，将钣金件制造过程各中间状态的模型共同构成一个集成的模型，为钣金件整个数字化制造过程中模型的传递、协调和管理提供一致的、精确的数据，实现钣金件数字量传递与控制。

结束语

钣金件数字化制造应围绕制造模型定义、工艺数据库构建和基于知

识的钣金件成形工艺设计等内容开展，形成钣金件数字化信息全面集成应用的解决方案。（1）围绕制造模型的数字量产生、管理和应用，对成形工序中的制造模型、工艺参数和成形模具等进行集成优化；建立钣金件制造模型数字化定义、管理的应用平台。（2）开展和完善钣金件制造知识重用体系，建立基于知识的设计方法，并将其应用于钣金件成形工艺及工装设计，实现钣金件制造的精确化、高效化，使企业大量工艺数据和经验知识以数字化形式得到继承和重用。（3）通过对钣金件工艺过程的研究，在钣金件制造业务流程的设计、工艺、加工等各环节应用数字化技术，发展和应用数字化集成技术以有效提高航空产品制造技术水平。

参考文献

[1] 刘闯, 王俊彪. 一种飞机钣金零件数字化制造系统模式[J]. 中国制造业信息化, 2009, 38(7): 42-45.
LIU Chuang, WANG Junbiao. Digital manufacturing system mode for aircraft sheet metal part[J]. Manufacturing Information Engineering of China, 2009, 38(7): 42-45.
[2] 朱明华, 王文斌, 李小强, 等. 大型客机钣金数字化柔性精准成形技术[J]. 南京航空航天大学学报, 2011, 43(2): 217-220.
ZHU Minghua, WANG Wenbin, LI Xiaoqiang, et al. Digital, flexible and precise forming technology of sheet metal in large airliner[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2011, 43(2): 217-220.
[3] 李小强, 李东升, 于成龙, 等. 航空钣金数字化快速工艺准备系统的研究与开发[J]. 塑性工程学报, 2013, 20(1): 38-41.
LI Xiaoqiang, LI Dongsheng, YU Chenglong, et al. System for digital process preparation of aerospace sheet metal[J]. Journal of Plasticity Engineering, 2013, 20(1): 38-41.
[4] 咸阳, 李辉, 尉国强. 波音客机垂尾钣金支撑件数字化成形技术[J]. 航空制造技术, 2011(23): 59-63.
XIAN Yang, LI Hui, WEI Guoqiang. Digital forming of boeing vertical-tail housing[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2011(23): 59-63.

(下转第49页)