

# 复杂零件云制造知识服务研究

郭宗祥

(陕西国防工业职业技术学院 数控工程学院, 陕西 西安 710300)

**摘 要:**针对复杂零件产品研发迫切需要对产品研制过程中的知识进行有效管理以实现共享和重用。以叶轮云制造为例建立了复杂零件云制造知识服务流程,在此基础上对复杂零件云制造流程中工艺设计静态知识服务、切削参数优化动态知识服务、刀轨计算静态知识服务、刀轨计算动态知识服务的实现策略进行了研究。以多孔型腔零件云制造为例,实现了部分功能,初步验证表明所提出的知识服务策略可有效提升产品研发效率。

**关键词:**云制造;知识服务;工艺设计;切削参数优化;刀轨计算

**中图分类号:**TH166 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2020)04-0070-04

## Research on Knowledge Service for Cloud Manufacturing of Complex Parts

GUO Zongxiang

(College of Numerical Control Engineering, Shaanxi Institute of Technology, Xi'an 710300, China)

**Abstract:** To effectively manage, share and reuse the knowledge in the process of the research and development of complex parts, this paper takes impeller cloud manufacturing for example, establishes its knowledge service flow process, then, researches on the implementation strategies of the static knowledge service of process design and tool path calculation and the dynamic knowledge service of cutting parameter, optimization and tool path calculation, and then, takes the cloud manufacturing of porous cavity parts for example, some functions of the system are realized. The preliminary verification shows that the knowledge service strategy above can be used to effectively improve the efficiency of the product development.

**Keywords:** cloud manufacturing; knowledge service; process design; cutting parameter optimization; tool path calculation

## 0 引言

云制造是一种面向网络化制造的新模式,其共享与服务理念可以完成企业知识资源由传统的数据分类存储与检索到知识服务的转变<sup>[1]</sup>。知识服务是以专业知识内容和互联网信息进行搜索查询为基础,为用户提供有用的信息和知识。复杂零件研发周期长,研发过程涉及学科领域广泛,所需知识资源众多,迫切需要对产品研制过程中的知识进行有效管理以实现共享和重用。云制造环境下的知识服务基于海量的制造知识资源,可以较好地解决共享和重用问题。

刘运通等<sup>[2]</sup>为了将知识服务主动地提供给产品设计过程,提出了一种产品设计过程知识服务系统构建方法<sup>[3]</sup>;李录等<sup>[4]</sup>为了解决机械零件设计知识资源难发现、获取率不高的问题,提出一种关联知识检索服务方法;李颖新等<sup>[5]</sup>为提高个性化知识服务能力、增强用户黏度,提出一种云制造环境下的个性化知识服务方法;何二宝等<sup>[6]</sup>针对云知识服务问题,给出了产品知识服务系统架构,设计了知识服务实现过程;刘俊等<sup>[7]</sup>为解决集团企业制造资源和制造能力的共享与协同问题,提出了一种基于知识整合的集团企业云制造服务平台;阴艳超等<sup>[8]</sup>为解决云制造环境下知识服务能力评估问题,建立了知识服务能力评估体系。

复杂零件云制造知识服务是指在复杂零件云制造过程中,根据服务需求,主动检索推送相应的知识资源,实现企业有效知识资源与业务流程的紧密耦合,从而达到重复利用、按需获取、高效配置、充分共享知识资源与制造能力的目标<sup>[9]</sup>。本文以叶轮云制造为例,对复杂零件云制造知识服务实现途径进行研究。

## 1 复杂零件云制造知识资源

复杂零件产品多由集团企业各单位以产品研发任务流程为主线协同研发制造。云制造环境下,协同过程中的某个业务活动可能同时需要多部门的参与,也可能涉及到其他多个业务活动。在交互协作的过程中,需要大量的知识资源,同时也会产生新的知识资源。为了更精准地描述、存储、管理知识资源,从而方便知识资源的检索,以提供更精确、更有效的知识服务,根据知识资源类型的不同,可将制造知识资源分为静态和动态两大类<sup>[10]</sup>。

静态知识资源主要指专利、技术标准、规范、操作手册、仿真测试数据等不可随意更改的、以文本数据表形式存在的、供用户参阅的知识资源。静态知识服务主要是抽取和组织专利、技术标准、规范、操作手册、仿真测试数据

**基金项目:**陕西国防工业职业技术学院专项科研计划项目(Gfy19-27);陕西省自然科学基金基础研究计划重点项目(2019JZ-50)

**作者简介:**郭宗祥(1992—),男,陕西安康人,助教,硕士,研究方向为计算机集成制造、云制造。

中隐含的、有用的制造知识资源,建立复杂零件加工知识资源索引库,向用户提供可用的服务。主要有知识资源检索服务和知识资源主动推送服务。

动态知识资源主要指设计模型、仿真模型、网格划分模板、工艺设计模板、软件工具等具有特定功能的、具有参数化特性的、通过输入数据或进行部分修改就能够重复使用的知识资源。云制造环境下,产品的研发制造过程需要多个功能软件进行建模、仿真、优化、测试。企业动态知识资源繁多,采用相关技术对这些功能进行服务化描述和封装,使用户可以便捷地使用,即称为动态知识服务<sup>[9]</sup>。

## 2 复杂零件云制造知识服务流程

叶轮是一种典型的通道类复杂零件,广泛应用于航空航天、石油化工等行业领域<sup>[11]</sup>。叶轮叶片多,流道扭曲且狭窄,造型复杂,加工精度要求高,加工过程复杂,其研发制造过程涉及多个领域及专业学科的知识,需要大量的知识资源的支撑。将云制造及知识服务理念引入叶轮加工过程,为产品研发制造全生命周期提供精准、可靠、安全的知识服务,能够极大地提升产品的研发效率,缩短产品的研发周期,提升企业产品竞争力。因此,以叶轮为例构建复杂零件云制造知识服务流程如图1所示。

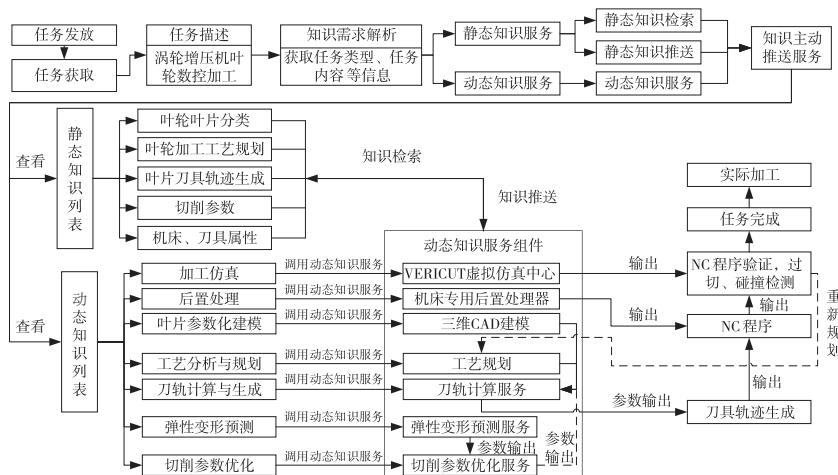


图1 叶轮云制造知识服务流程

相关产品研发人员获取下发的任务后,读取任务类型、专业领域、任务要求、完成日期等任务信息,通过基于本体的分词处理,获取任务需求。以半开式叶轮数控加工为例,将“半开式叶轮数控加工”任务经过分词处理,分解为“半开式叶轮”、“数控加工”、“数控”、“加工”等词句,语义扩展后获得“半开式叶轮”、“数控编程”、“数控加工仿真”、“加工工艺”等领域本体术语,形成知识服务检索的关键词。在静态知识服务方面,可以检索叶轮叶片的分类、叶轮加工工艺设计、切削参数选取、叶片刀具轨迹生成等知识,将这些知识主动、准确地提供给用户,减少了研发技术人员搜索知识资源的时间,而且能够充分地参考企业已有的技术、经验知识,提高了研发效率和知识资源重复使用率。在动态知识服务方面,用户可以调用叶轮零件参数化建模、CAE分析、工艺设计、切削参数优化、刀具轨迹计算与生成、弹性变形预测等动态知识服务组件,完成叶轮产品建模、工艺设计、刀轨计算等加工仿真任务。值得注意的是,静态知识和动态知识并没有严格的界限,用户在调用动态知识服务时,必然需要对应静态知识的辅助,而静态知识中也包含着动态知识的一些结论。通过静态和动态知识资源的协作,可以准确、高效地完成叶轮产品研发制造任务。

## 3 复杂零件云制造知识服务的实现

### 3.1 工艺设计静态知识服务

采用UG、CATIA等CAD/CAM软件进行数控编程时,

除第一道工序开粗选择整个零件几何体进行加工外,后续各工序一般都以目标零件上的点、线、面等特征为单位进行刀具轨迹的设计。因此,可以基于加工特征进行工艺设计。

采用以下五元组来描述一个加工特征(machining feature, MF):

$$MF = \langle FT, FD, FC, FB, MR \rangle$$

其中:FT为特征类型,如平面、曲面、型腔等;FD为特征尺寸信息;FC为特征外形描述;FB为特征边界描述;MR为特征加工要求,如加工精度、表面质量等。

采用以下二元组来描述一个特征对应的加工工艺(Manufacturing Process):

$$MP = \langle MF, MT \rangle$$

其中MT为该特征对应的加工方法。

基于单个特征的描述,一个零件的加工工艺路线(Process Route)可描述如下:

$$PR = \langle Blank, MP_1, MP_2, \dots, MP_n, R \rangle$$

其中:Blank为毛坯的相关信息描述;MP<sub>i</sub>为第i个加工特征对应的加工工艺;R为加工特征间的关联关系。

采用上述描述方法以本体术语对典型零件的典型工艺路线进行描述,形成典型工艺路线库,当进行工艺设计时,根据当前零件的MF在典型工艺路线库中检索匹配相关的PR,可以快速地进行工艺规程的制定。

### 3.2 切削参数优化动态知识服务

切削参数对加工效率和加工质量有着至关重要的影

响,实际加工中多依靠加工经验或参考手册来确定。出于安全原则,一般取值都相对保守,因此所用的切削参数并非是最优的<sup>[12]</sup>。云制造奉行绿色制造的理念,高能源利用率、低能源消耗是其目标之一,因此有必要对切削参数进行最优化定制。

采用文献[13]中的方法,建立以每齿进给量 $f_z$ 、铣削速度 $v$ 、切削深度 $a_p$ 、切削宽度 $a_e$ 为待优化切削参数,以铣削力 $F$ 、机床有效功率 $P$ 、零件表面粗糙度 $Ra$ 为非线性约束条件,以生产效率最高(加工时间 $T_m$ 最短)、生产成本

$C_p$ 最低为目标的切削参数优化数学模型,并以粒子群算法对模型进行求解。以 MATLAB 编制求解算法,并以 M 文件保存。采用动态知识资源服务化描述封装方法,将该 M 文件封装为知识服务组件并发布到云知识平台形成切削参数优化动态知识服务。切削参数优化动态知识服务组件结构如图 2 所示,当用户进行切削参数选取时,直接远程调用该服务,输入相关参数即可完成切削参数的优化,从而达到提高生产效率、降低生产成本、提高加工表面质量的目标。

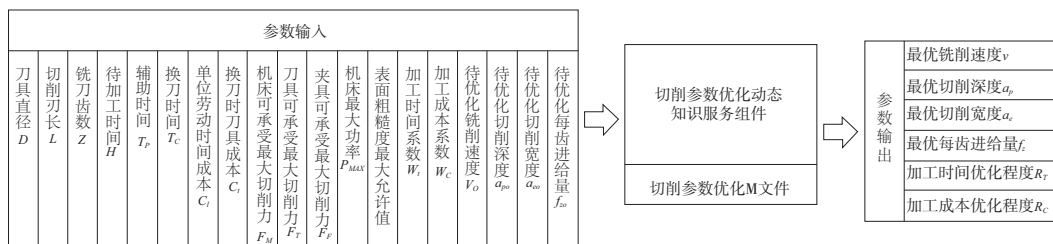


图2 切削参数优化动态知识服务组件结构

### 3.3 刀轨计算静态知识服务

复杂零件尤其是复杂曲面零件数控加工刀具轨迹计算需要设置多项加工参数,这些参数设置得是否合理直接影响到最终加工出来零件的质量,甚至有可能因为设置不当加工出废品,或损坏机床刀具。因此,在刀轨计算参数设置过程中必须参考已有技术成果、专家经验等知识资源。以 CATIA 数控加工为例,进退刀设置时技术人员一方面要熟悉数控加工常用进退刀方式,同时还必须熟悉相应的进退刀方式在 CATIA 中的设置方法;在走刀方式设置中,技术人员必须掌握不同走刀方式(往复式、单向、环切等)对加工表面质量的影响以及经济性,掌握加工不同特征时刀轴的控制方式,掌握轴向进给和径向进给量的设定原则及进给量大小对表面质量的影响等知识。通过归纳整理与刀轨计算有关的文献、专利、专家经验等知识资源,基于本体进行统一描述,形成刀轨计算静态知识资源池。当系统检测到有刀具轨迹计算活动或用户向系统发出刀具轨迹计算知识服务请求时,系统对当前任务进行解析,获取用户需求内容,通过对“刀轨计算”进行语义扩展,从各索引库中检索匹配与刀具轨迹生成有关的知识资源。例如切削参数设置、刀轴控制、进退刀设置、碰撞检测、走刀步长计算、刀具等以文档、表格、文献存在的静态知识,将这些知识资源按照一定的排序方式推送给用户。用户通过学习刀轨计算相关知识可以快速了解刀轨计算的内容和工作,同时用户在使用刀轨计算动态知识服务时,也需要使用静态知识指导刀具轨迹计算及刀轨的生成。

### 3.4 刀轨计算动态知识服务

对于某个企业来说,其研发的产品类型相对比较固定。因此,可以将零件加工过程所有典型特征进行归纳整理,并给出企业经过多年积累的针对该特征的典型加工方法,将这些加工方法封装成模板构成典型特征加工工艺库。当进行数控编程时,可以直接使用模板对相应的特征进行刀具轨迹计算,从而大大提高编程效率,提高数控程

序的质量,从而加工出质量更高、经济更优的产品。CATIA等 CAM 软件为数控加工模块提供了相应的二次开发接口构架,可基于该构架对录制的宏进行二次开发。

针对不同的典型特征采用平面铣削(facing)、型腔铣削(pocketing)、轮廓铣削(profile contouring)等加工方法,以企业积累的经典加工策略对该特征进行加工,设置进退刀方式、走刀方式、加工精度、刀轴控制等刀具轨迹控制信息,并对该过程进行宏录制,然后采用二次开发技术对录制的宏进行修改,形成平面、型腔、曲面等特征的特征加工模板,存储在宏库中。当遇到类似的特征时,可直接调用对应的特征模板进行刀具轨迹计算,从而减少重复劳动,提高效率。

## 4 应用实例

以 Eclipse4.5 作为集成开发环境(IDE),利用 SQL Sever2012 搭建服务系统数据库,利用 Java、XML、JavaScript 语言开发复杂零件云制造知识服务平台中知识服务的部分功能。以图 3 所示多孔型腔零件云制造为例,说明知识服务的实现。

某企业主要生产图 3 所示的多孔型腔类零件,为提高工艺设计效率,基于加工特征,对此类典型零件进行工艺设计,形成典型工艺路线库,放入知识服务平台。采用文献[14]中的方法,对 CATIA 二次开发,实现对零件加工特征的识别。根据特征间的约束关系(几何定位约束、基准约束、先主后次约束等),采用人工神经网络对特征排序,将工艺路线库中满足要求的工艺路线推荐给当前特征序列,为用户提供工艺设计静态知识服务。

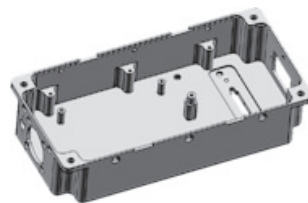


图3 多孔型腔零件

完成工艺路线的设计后,对于每个加工特征,需要确定具体的切削参数。调用图4所示切削参数优化动态知识服务页面,输入刀具直径、经验切削参数、所要求的加工表面粗糙度等参数,完成切削参数的优化,以达到提高生产效率、降低生产成本、提高加工表面质量的目标。



图4 切削参数优化动态知识服务页面

在进行走刀路径设计时,刀轴控制、进退刀方式、碰撞检测等的设置对于加工路径有着重要影响。通过图5所示刀轨计算静态知识服务页面,快速访问专利、专家经验等知识资源,可获得相关的经验知识,完成相关参数的设置。最后,将切削参数、刀轴控制、进退刀方式、碰撞检测等相关参数输入图6所示刀轨计算动态知识服务模块中完成刀具轨迹的计算,输出刀位文件(CL file),通过前置处理获得G/M代码,在VERICUT中验证无误后进行零件加工。初步运行表明,该系统可有效提高制造知识资源的共享和重用,提高产品研发效率。



图5 刀轨计算静态知识服务页面

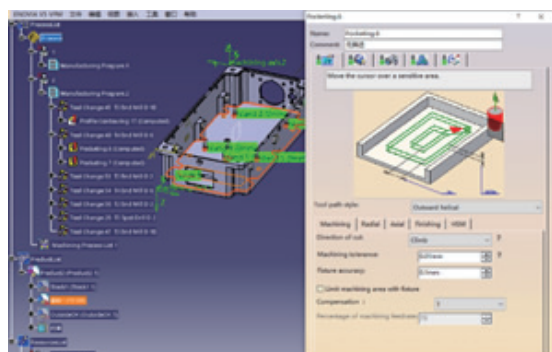


图6 刀轨计算动态知识服务模块

## 5 结语

为实现复杂零件制造过程中制造知识资源的共享及重用,提高生产效率,在对制造知识资源梳理分类的基础上,以叶轮云制造为例构建了复杂零件云制造知识服务流程。基于加工特征构建了工艺设计静态知识服务;基于绿色制造理念建立了切削参数优化动态知识服务;基于文献、专利、专家经验库建立了刀轨计算静态知识服务;基于CATIA二次开发构建了刀轨计算静态知识服务,对复杂零件云制造关键过程知识服务的实现进行了探索。最后,以多孔型腔零件云制造为例,实现了部分功能。初步运行表明,该系统可有效提高制造知识资源的共享和重用,提高产品研发效率。

### 参考文献:

- [1] 蔡安江,郭宗祥,郭师虹,等. 云制造环境下的知识服务组合优化策略[J]. 计算机集成制造系统,2019,25(2):421-430.
- [2] 刘运通,唐任仲,王国栋. 基于DAG知识组织模型的产品设计过程知识服务系统[J]. 计算机集成制造系统,2011,17(7):1356-1365.
- [3] 伍英杰. 面向机械产品设计的知识服务关键技术研究[D]. 济南:山东大学,2014.
- [4] 李录,毛汉颖,吴振勇,等. 机械零件设计的知识服务方法及系统实现[J]. 计算机应用与软件,2016,33(6):68-72.
- [5] 李颖新,敬石开,李向前,等. 云制造环境下基于用户行为感知的个性化知识服务技术[J]. 计算机集成制造系统,2015,21(3):848-858.
- [6] 何二宝,张太华. 基于PLM的云知识环境下知识服务模式研究[J]. 现代制造工程,2015(1):15-19.
- [7] 刘俊,敬石开,吴东峰. 一种基于知识整合的集团企业云制造服务平台[J]. 机械制造与自动化,2017,46(4):95-97.
- [8] 阴艳超,牛红伟. 云制造环境下知识云能力量化评估方法研究[J]. 农业机械学报,2016,47(8):325-332.
- [9] 丁卫刚. 复杂曲面云制造加工过程知识服务建模与实现[D]. 昆明:昆明理工大学,2016.
- [10] 尹翰坤. 汽车零部件新产品开发云制造服务平台及关键技术研究[D]. 重庆:重庆大学,2015.
- [11] 刘江臣. 整体叶轮数字化设计制造技术研究与实现[D]. 济南:山东大学,2008.
- [12] 刘海江,黄炜. 基于粒子群算法的数控加工切削参数优化[J]. 同济大学学报(自然科学版),2008,36(6):803-806.
- [13] 吴玲,左健民,王保升,等. 基于遗传算法的铣削参数优化[J]. 组合机床与自动化加工技术,2014(4):108-111.
- [14] 张禹,董小野,李东升,等. 基于STEP和改进神经网络的STEP-NC制造特征识别方法[J]. 航空学报,2019,40(7):256-267.

收稿日期:2020-04-28