

电火花成形机床云端服务平台建设及验证技术研究

郭建梅^{1,2}, 何 虎^{1,2}, 刘建勇^{1,2}, 孙东江^{1,2}, 蔡延华^{1,2}, 韩 笑^{1,2}

(1. 北京市电加工研究所, 北京 100191;

2. 电火花加工技术北京市重点实验室, 北京 100191)

[摘要] 为了提高电火花成形机床的运行寿命和维修效率,降低航空、航天、能源等领域对难加工材料、复杂结构零部件使用电火花成形机床加工的工艺难度,提高加工工艺服务的共享性与便利性,开展了电火花成形机床云端服务平台建设关键技术研究,包括平台的系统架构方案设计、软硬件设计实现;基于该平台开展了电火花成形机床的云端运行监控及航空发动机关键零部件涡轮盘的电火花加工远程工艺服务试验,验证了该平台建设的有效性。

关键词: 电火花成形加工; 云端服务平台; 电火花加工验证; 涡轮盘; 工艺服务

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2019.11.020



郭建梅

副研究员,北京市电加工研究所副所长。主要从事特种加工装备与技术研发以及金属、非金属等材料的加工技术研究。分管、主持、作为主要技术骨干完成了国家 04 重大专项、省部级及其他项目共计 30 余项。获得授权专利 11 项。获得国防科技进步三等奖 1 项、国际发明奖金奖 2 项、银奖 1 项,北京市科学技术研究院优秀科技成果奖 3 项。

电火花成形机床作为特种加工机床的典型代表,是我国航空领域发动机、格栅网、叶片模具、火焰筒等关键零部件制造技术中不可或缺的特种加工单元。目前我国国产多轴联动精密数控电火花成形机床在单机机床精度指标、加工稳定性、使用可靠性等方面已与国外机床水平相当,甚至在某些性能方面超过了国外机床;但是国产电火花成形机床在数字化工厂内的互联互通性能与国外机床仍然具有一定的差距。在电火花成形加工机床方面,美国林肯大学以网络为基础,开展了电火花机床加工过程监控与信息采集的研究;瑞士 GF 加工方案、日本三菱电机公司等国外电火花机床厂商都已建立了机床运行与加工过程监控系统,并且在各个企业内部积累了大量的基础工艺、机床运行数据,为进一步提升其机床信息化、智能化的应用打下了坚实基础。目前,我国国产电火花机

床虽然已能实现在自动化制造生产线中与整体控制线的通信,但电火花机床的实时有效运行状态数据、加工数据仍然难以及时有效反馈。机床故障定位难,带来设备安全性及可靠性受限、维修费用高等问题^[1-2];且各厂商间电火花加工工艺共享程度低,对复杂结构部件加工水平参差不齐^[3]。为提升特种加工机床单元的智能化、可靠性以及与互联网的融合创新性、降低维修成本,积累机床与工艺基础大数据,提高工艺服务的共享性与便利性,打破传统电加工服务模式,亟需建立一个电火花成形机床云端服务平台,并开展平台建设关键技术与实际工艺服务验证技术研究。

本文基于物联网与工业云技术,在特种加工机床领域尤其是电火花加工领域初步探索建立一个基于云端的服务平台,在保障机床运行寿命和提升维护效率的同时,实现为航

空、航天、能源等领域有难加工材料、复杂结构零部件加工需求的企业提供云端工艺服务,实现工业技术需求数据的共享、应用,为建立基于云端的特种加工装备产业集群协同创新模式打基础。

电火花成形机床云端服务平台建设目标

本平台的长期建设目标是建立一个云端智能服务平台实现机床全生命周期寿命保障及特殊零部件全过程自动化智能加工。电火花成形机床云端服务平台的全功能框图如图1所示。

该服务平台主要包含两个子平台:一是云端寿命保障系统子平台,主要功能是基于物联网技术将采集到的机床关键部件及实时运行状态数据上传到云端,并结合大数据分析技术对状态数据进行可视化、整理挖掘、预测性分析等,实现对关键部件寿命的预测预警、故障定位,提升机

床生产企业的售后服务能力,降低机床维修成本,同时可对机床的生产、使用、维护全过程可追溯;二是云端工艺服务系统子平台,主要基于工业云平台,以电火花加工工艺技术为基础,实现不同地域、不同企业的工艺技术人员通过云端共享加工工艺技术,为用户提供远程技术服务、解决复杂零部件电火花加工的工艺技术难题。未来可为用户提供远程零部件智能加工服务,根据用户需求自动完成目标零部件的工艺加工。

云端寿命保障系统子平台建设

在远程监控与维护系统方面国内学者已经进行了比较详细的研究工作,如高罗卿等^[4]设计了基于OPC技术的数控机床的监控系统,郑晓虎等^[5]设计了基于MTConnect的机床远程多功能监控系统,唐翔等^[6]设计了基于ARM的水射流数控机床实时监控报警系统,这些系统的监

控对象均是通用数控机床。而电火花成形机床工作在电火花放电的强电磁干扰条件下,且监控的参数既有通用性也有其特殊性,云端寿命保障系统子平台实现了远程对电火花机床工作状态的实时监控及报警。

1 寿命保障系统子平台架构设计

云端寿命保障系统子平台技术体系架构如图2所示,各种类型的机床设备通过数据采集模块接入企业内网,通过交换机与云端服务器相连。数据采集模块为适配各种类型的机床,兼容了多种工业互联网接口,将采集的机床数据上传至云端服务器。云端服务器负责存储数据,并对数据进行分析,得出故障预测模型,同时存储各种加工工艺文件,并为用户访问提供安全接入接口及权限管理功能。

2 本地数据采集系统设计

本地数据采集系统采用STM32F107作为主处理器,其主频高达72MHz,内置高达256KB Flash

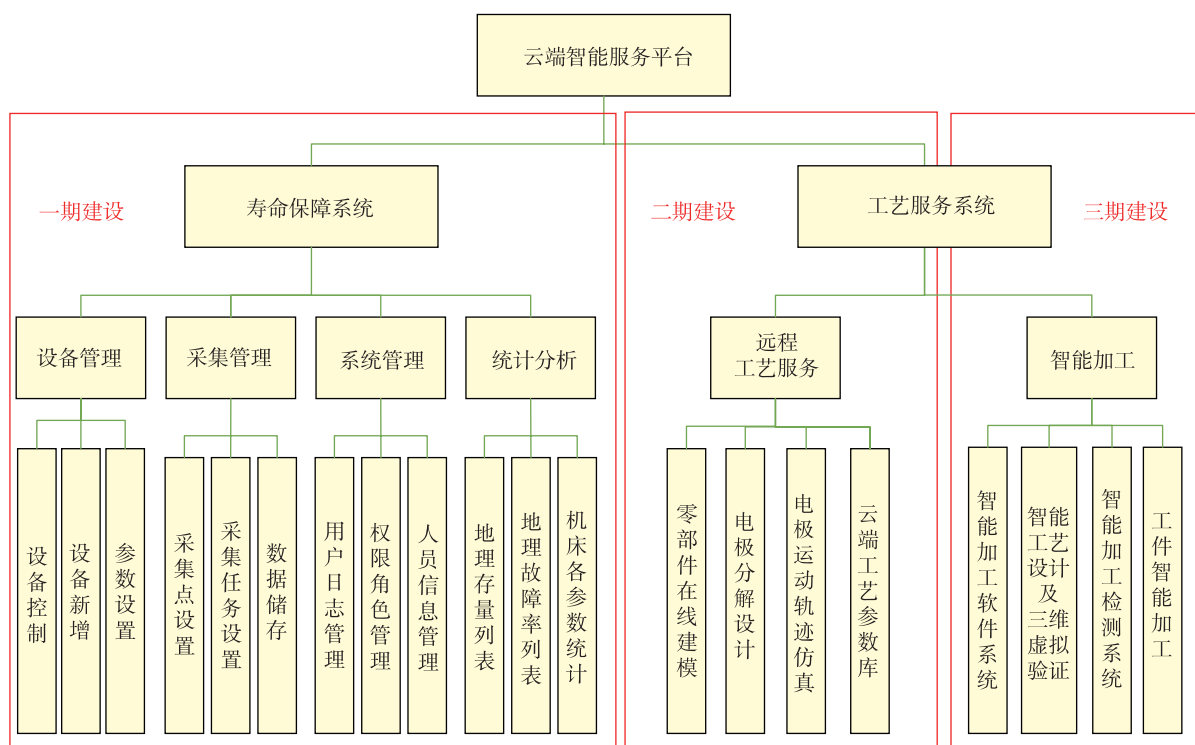


图1 电火花成形机床云端服务平台全功能框图

Fig.1 Functional block diagram of cloud service platform for EDM

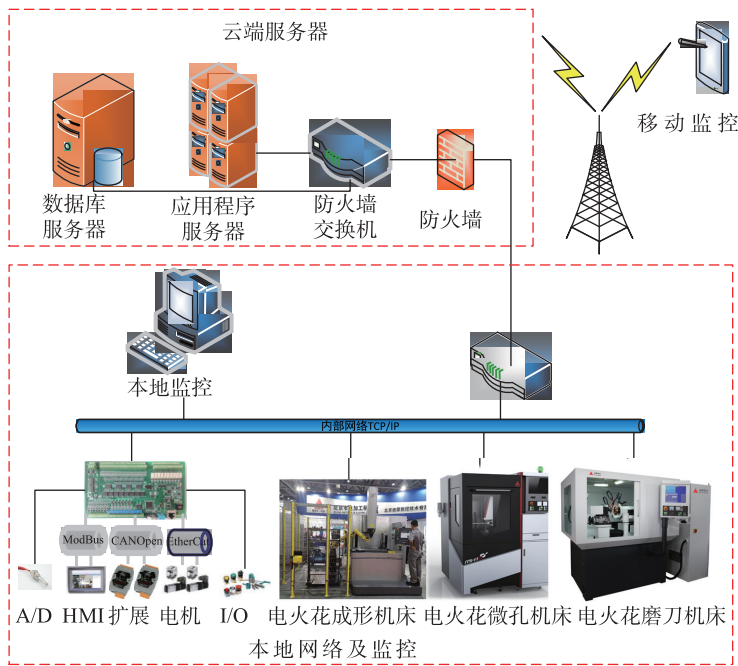


图2 云端寿命保障系统子平台体系架构图

Fig.2 Architecture diagram of cloud-based life assurance system sub-platform

及 64KB SRAM^[7],其主要负责电火花成形机床各部件检测传感器信息的采集,包括柜体和电阻箱等部件温度信息、高低压工作电压信息、轴伺服工作状态信息等,并对采集的状态信息数据进行上报,传输到云端寿命保障系统子平台,实现远程对设备的状态进行监控。其硬件架构方案如图3所示。

3 云端寿命保障系统子平台软件技术架构及验证

该平台主要实现系统管理、设备管理、采集管理及监控管理4大功能^[8]。前端表现层支持PC及移动端访问,主要采用 Ext JS、JQuery、Bootstrap 3 种技术,服务器端采用平台自身业务处理引擎来完成,包括前端封装模块、业务逻辑模块、数据持久模块和分布式模块,所采用的技

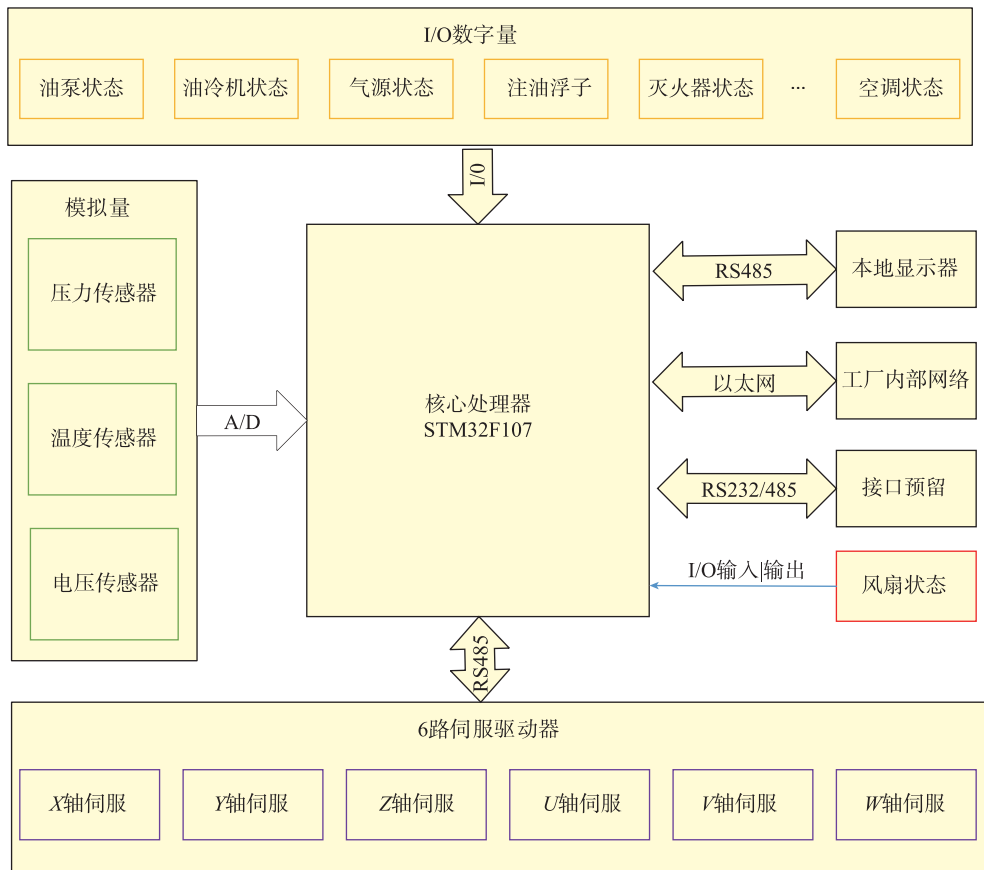


图3 本地数据采集系统硬件架构框图

Fig.3 Hardware architecture block diagram of local data acquisition system

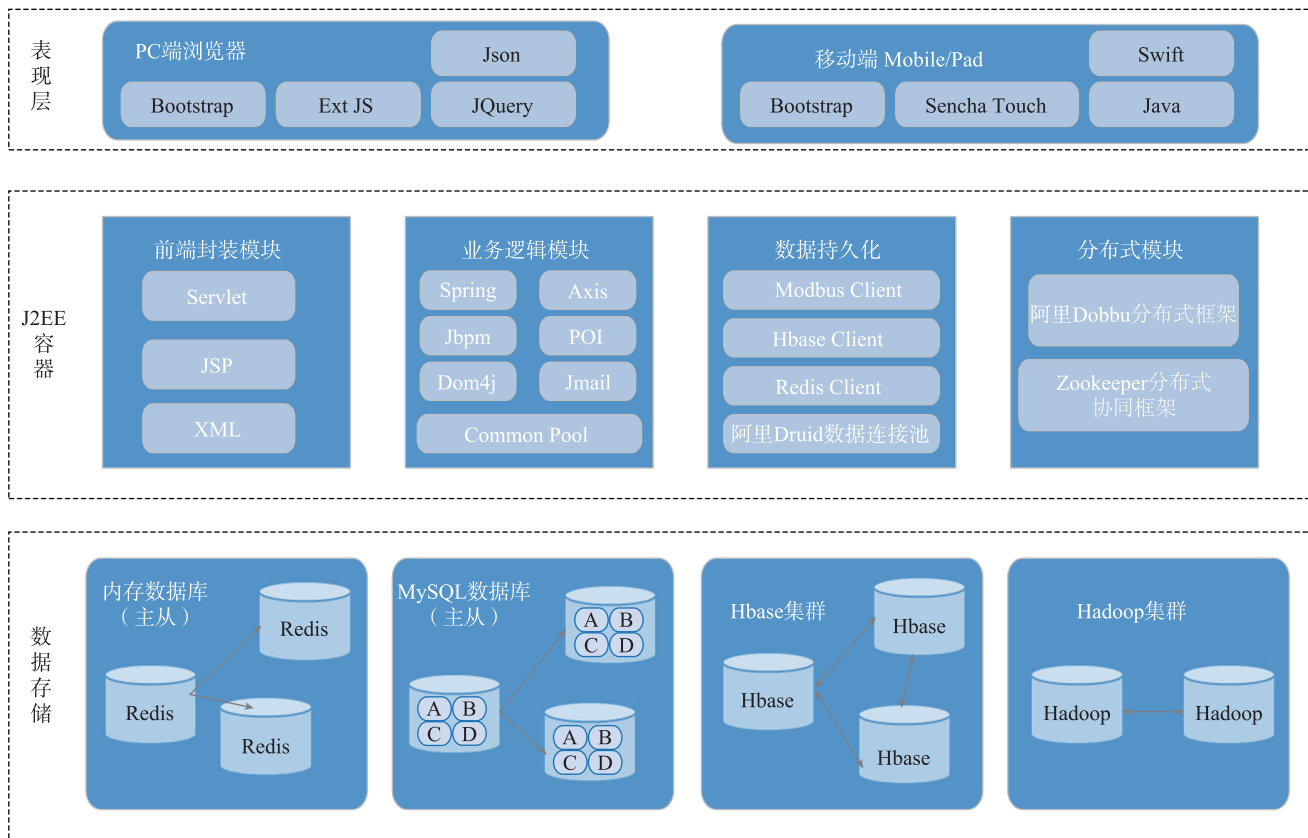


图4 云端寿命保障系统子平台软件技术架构图

Fig.4 Software technical architecture diagram of cloud-base life assurance system sub-platform

术主要有 Servlet、JavaBean、Jbpm、Druid、Spring、Axis 等,数据存储主要采用 Redis 及 MySQL 数据库。具体软件技术架构图如图 4 所示。

通过对不同地域客户的电火花成形加工机床安装寿命保障系统并接入云端寿命保障系统子平台,能够实时监控机床工作状态数据,并能够实现该平台的四大基本功能。实现的远程监控界面如图 5 所示。

云端工艺服务系统子平台建设

目前 CAD/CAM 技术在高精密复杂零部件设计与制造中得到了广泛的应用,任玉珠^[9]研究了 CAD/CAM 在高精密复杂模具设计与制造中的应用,杨彬^[10]开展了面向云制造的三维 CAD/CAM 集成研究。本文建设的云端工艺服务系统子平台是将 CAD/CAM 技术引入到电火花

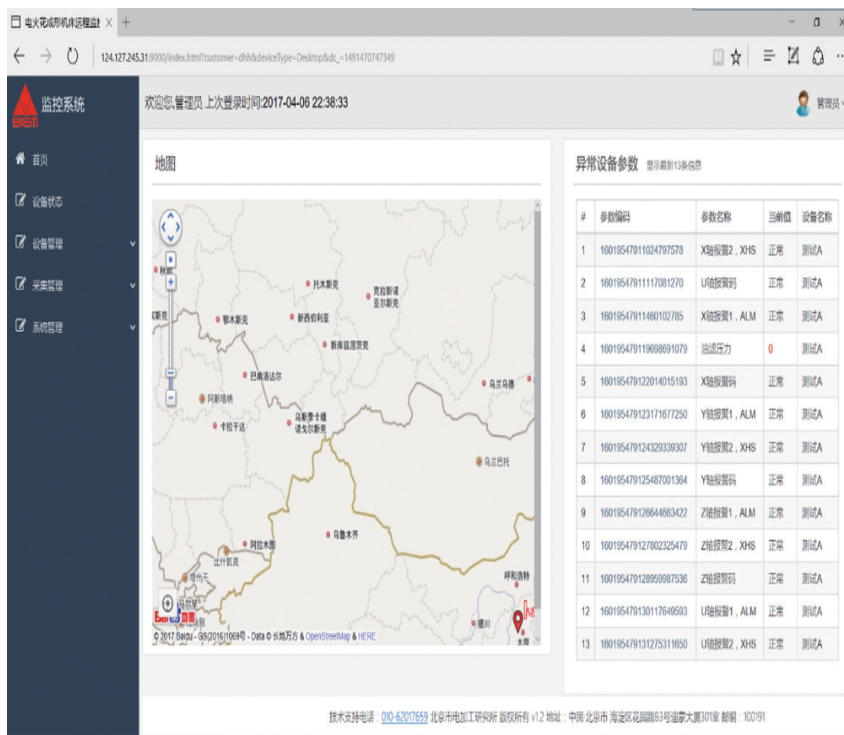


图5 云端寿命保障系统子平台远程监控界面

Fig.5 Remote monitoring interface of cloud-base life assurance system sub-platform

加工工艺服务中,融合电火花加工的特殊工艺流程及参数,以提高电火花加工工艺技术的共享性与加工工艺服务的便利性。

1 云端工艺服务系统子平台架构设计

基于北京市计算中心的北京工业云平台搭建以工业云为核心的装备云端工艺服务子平台。工业云平台是以精益化管理理论为依据,以信息安全管理规范为框架,以集群管理技术为基础,以资源调度服务为主线,面向工程任务的 CAD/CAM 在线服务的平台,主要目的是提高任务

效率,并实现对软硬件资源的统一管理,统一调度,北京工业云平台总体架构如图 6 所示。

设计的工艺服务系统子平台主要是将 SolidWorks、ESPRIT 软件及开发对应的二次插件包安装部署在北京工业云平台上,利用工业云平台提供的客户端架构、虚拟应用、高性能计算、应用商店及安全防护的功能,实现不同地域、不同企业的用户在线订购、在线支付,利用工业云硬件资源及调度策略,根据用户的资源请求动态调用工艺服务系统子平台资源,实现远程在线输入少量参数即

可利用服务平台完成零件的三维模型建立、自动生成加工电极分解模型以及六轴联动电火花轨迹的自动搜索和电极运动轨迹仿真等功能,实现远程定制多台套、不同加工需求装备的零部件加工工艺解决方案,使工艺制定流程更简单、高效。

2 云端工艺服务系统子平台试验验证

为对工艺服务系统子平台功能进行验证,采用航空发动机关键零部件涡轮盘进行工艺服务试验。首先按照如图 7 所示工艺服务系统子平台使用流程登录云端服务平台门户

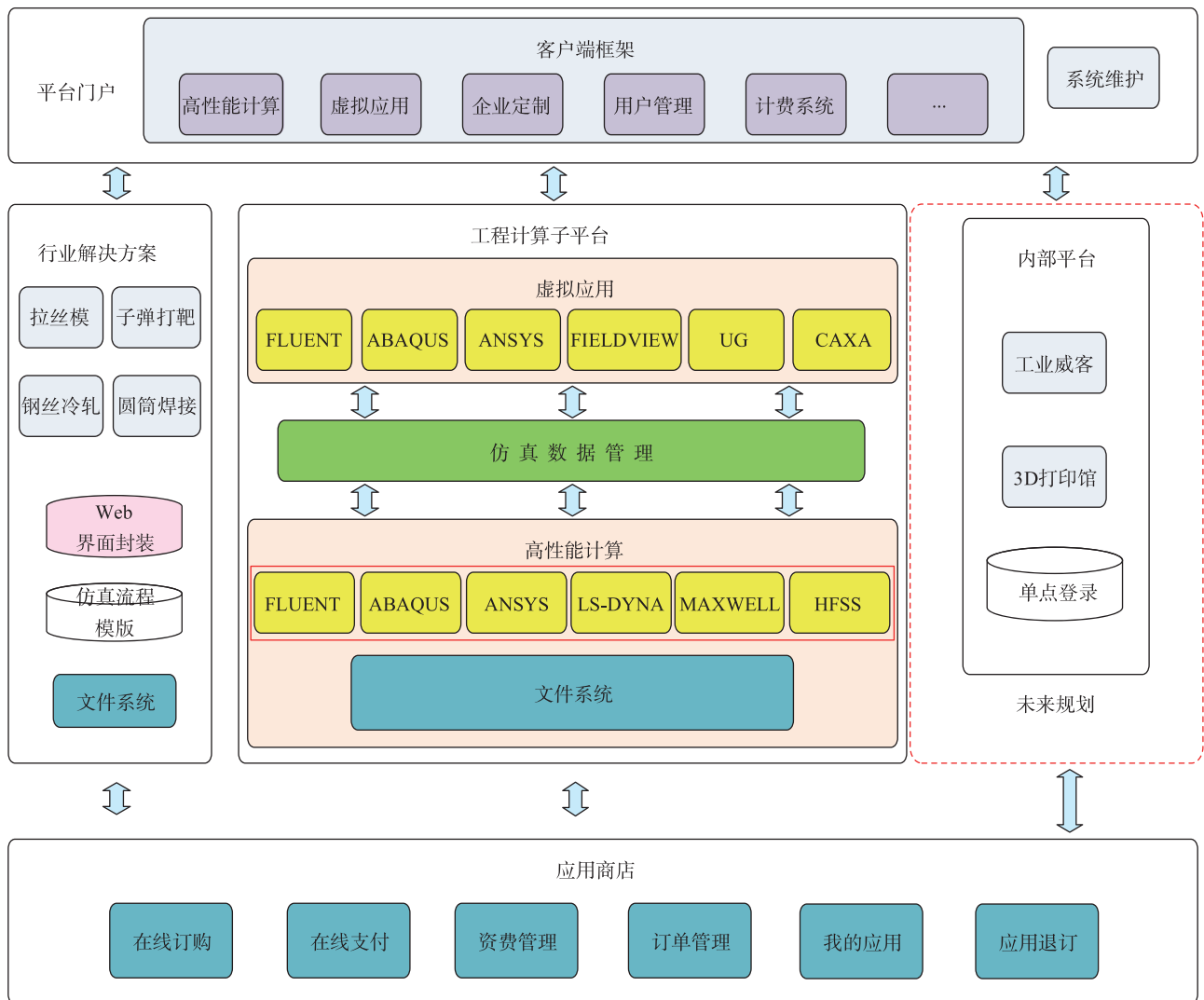


图6 北京工业云平台架构

Fig.6 Architecture of Beijing industrial cloud platform

网站,使用申请的账户及密码登录到北京市电加工研究所电火花成形机床云端服务平台,选择零部件种类,输入特定相关参数,生成涡轮盘三维模型,如图8所示。

根据生成的涡轮盘,在机床专用数据库中进行优选,最终选定北京市电加工研究所 B30 五轴联动精密数控电火花成形机床。机床专用数据库是根据电加工所现有的 A 系列、B 系列、N 系列 3 类机床,包括典型的五轴机床 A2190、B30、N85、MH10 等建模形成的,如图9所示为云平台上的机床模型库列表,图10为典型机床三维模型。后期还可根据客户要求逐步增加其他厂家的机床模型,丰富机床库,拓展电火花 CAM 系统应用。

根据机床和涡轮盘装夹需求,选择 3R 夹具进行加工验证。电火花加工专用卡具库可满足客户的不同装夹需求,进而满足客户多样化的实际加工模拟需求。CAM 系统建立了 3R 公司和 EROWA 公司的多种典型卡具三维数据模型,以便满足电极和工件模型的虚拟装夹需求。图11为云平台上卡具库列表;图12为 3R 公司的典型卡具三维模型;图13为 EROWA 公司的典型卡具三维模型。

在完成以上工作后,便可生成所需加工电极三维模型(图14),然后在云端 CAM 系统中,模拟零部件实际工况下的电极加工轨迹(图15),仿真通过后即可生成电火花加工 NC 程序,最后将生成的 NC 代码拷贝出来在对应的成形机床上执行即可加工出相应的零部件。

根据电极建模模块生成的电极三维模型,使用紫铜制作电极,如图16所示,制作完成的电极经三坐标测试仪检验合格后,进行涡轮盘实际加工工艺试验验证,如图17所示。

在油槽内安装 A 旋转轴与基准球,测量基准球中心与 A 轴中心之间的各个方向的距离,后期更换电极

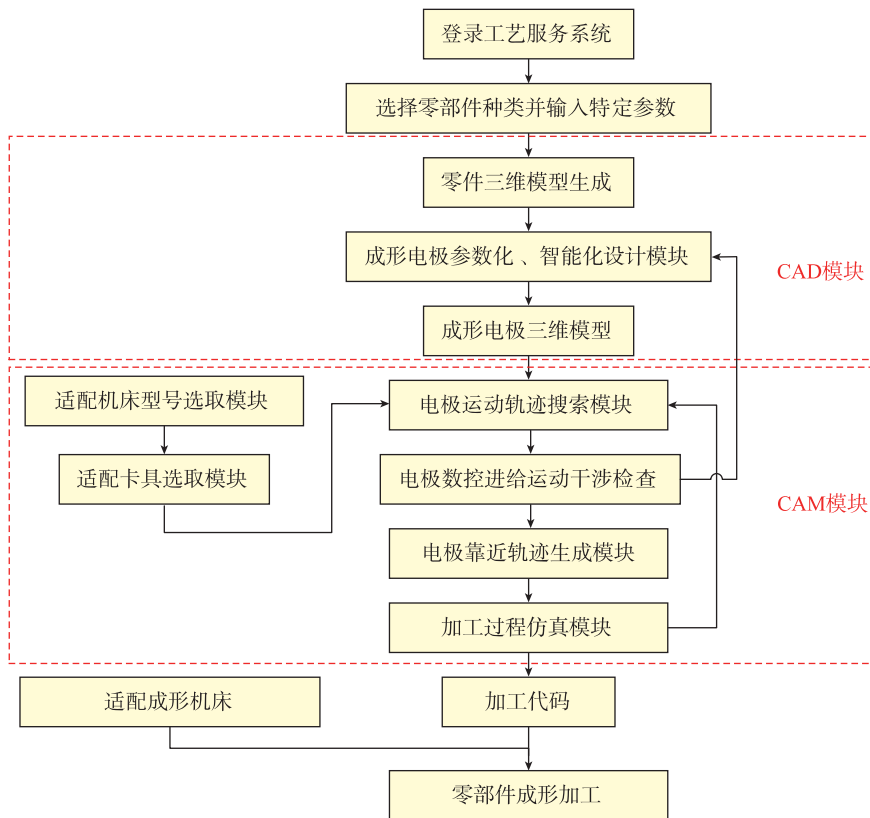


图7 云端工艺服务系统子平台使用流程图

Fig.7 Use flow chart of cloud-based processing techniques services system

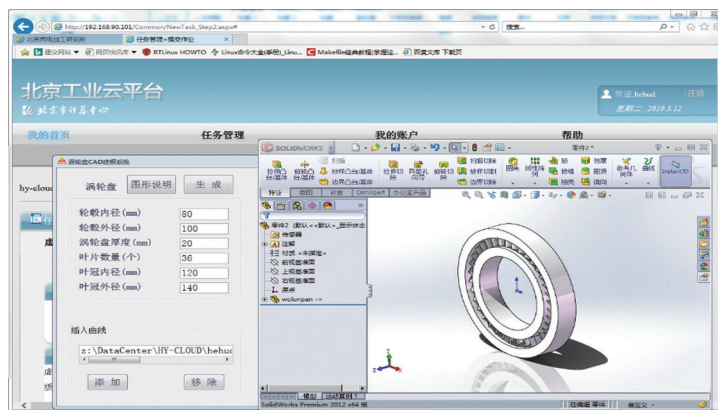


图8 云端工艺服务系统子平台涡轮盘三维模型生成图

Fig.8 3D model generation map of turbine disk on the cloud-based processing techniques services system

名称	属性	大小	最后修改时间
...	d		2018/3/1 16:51:38
...	d		2018/3/1 16:47:09
...	d		2018/3/1 16:47:30
...	d		2018/3/1 16:46:54

图9 机床模型库列表

Fig.9 List of machine tool model libraries

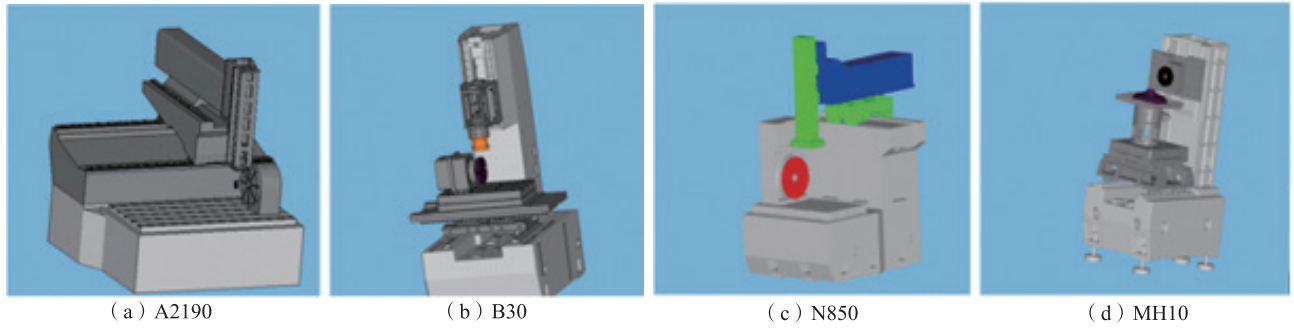


图10 典型机床模型图
Fig.10 Model diagram of typical machine tools



图11 云平台上卡具库列表
Fig.11 List of fixture libraries on cloud platform

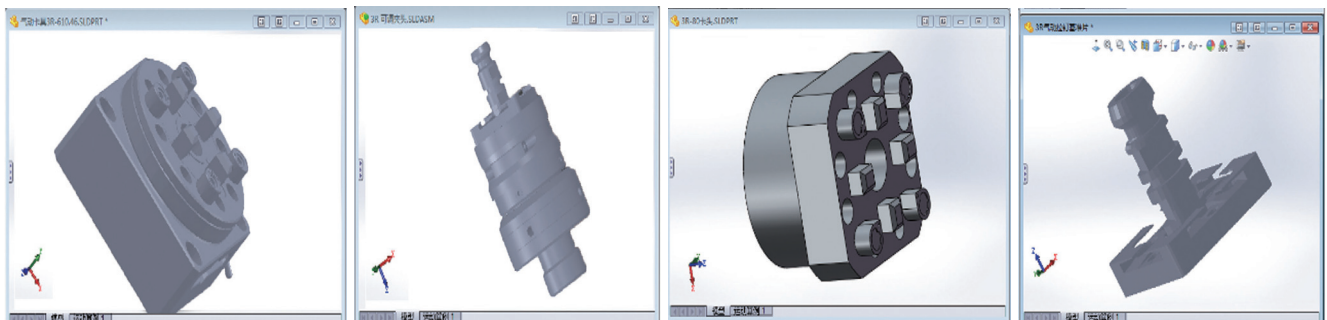


图12 3R公司典型卡具模型
Fig.12 Typical fixture models of 3R

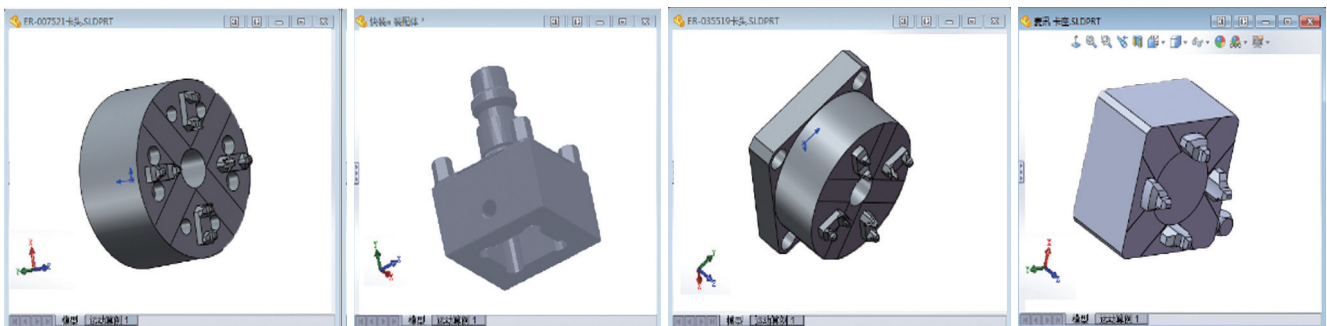


图13 EROWA公司典型卡具模型
Fig.13 Typical fixture models of EROWA

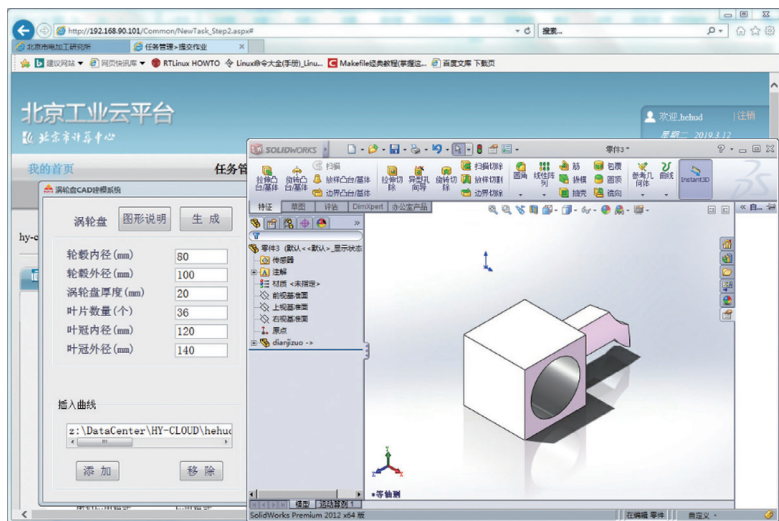


图14 云端工艺服务系统子平台涡轮盘分解加工电极三维模型生成图

Fig.14 3D model generation map of machining electrode for turbine disk on cloud-based processing techniques services system

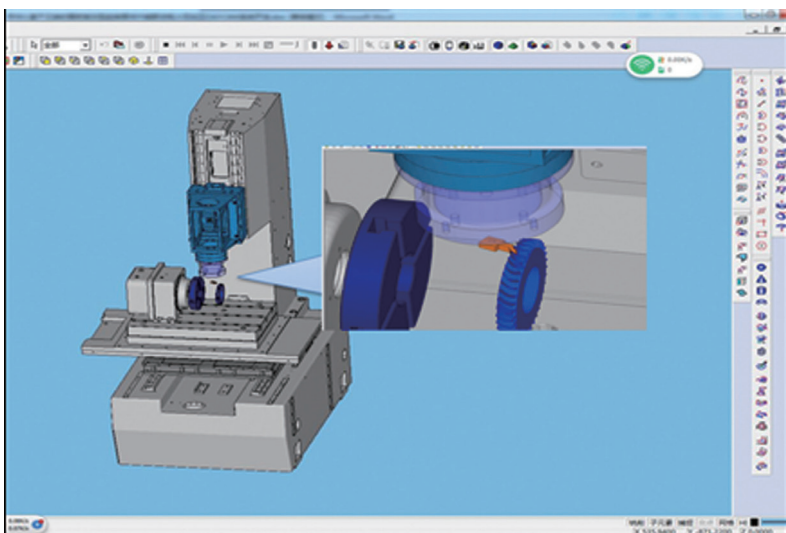


图15 电极加工轨迹仿真界面

Fig.15 Simulation of electrodes machining trajectory in CAM software

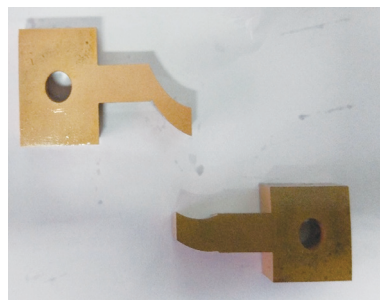


图16 制造完成并经检验合格的左右电极

Fig.16 Left and right electrodes through validation

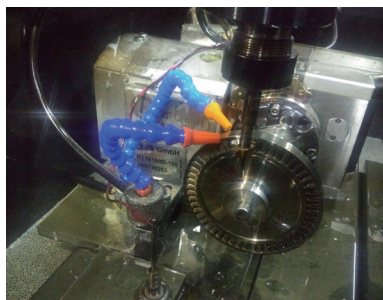


图17 加工过程中的涡轮盘

Fig.17 Turbine disk in processing



图18 加工完成的涡轮盘

Fig.18 Processed turbine disk

依据基准球定位对刀。将相应的电极安装至电极卡具杆上,找正电极的基准面,找正精度小于 0.005mm 。左电极从涡轮盘的左侧面加工进入,执行CAM软件生成的左电极电火花加工程序进行加工试验,考虑电极损耗,使用粗、中、精电极各1个;同理,右电极从涡轮盘的右侧面加工进入,执行CAM软件生成的右电极电火花加工程序进行加工试验,考虑电极损耗使用粗、中、精电极各1个。加工完成的涡轮盘(图18)顶径为 120mm ,底径 100mm 。经检验加工精度合格,加工效果良好。

结论

对电火花成形机床云端服务平台建设的关键技术点进行了全面研究,并完成了电火花成形机床云端服务平台的建设;通过对不同地域的多台电火花成形机床进行远程监控,同时,选用发动机关键零部件涡轮盘进行了该平台的电火花加工工艺验证,最终验证了该平台的可使用性。该平台的成功建设一方面可以提升装备的可靠性,降低维修成本,同时可向特种加工装备生产企业提供特种加工装备工业大数据,以便为设备的升级改造提供参考依据;另一方面将全面打破传统电火花工艺服务模式,提升航空航天等用户企业的电火花工艺服务制造能力,进而提高其航空型号装备制造响应能力。未来

还将进一步完善电火花制造技术相关的各类智能工艺设计与验证软件,最终实现基于云端的智能加工服务功能,为电火花这一特种加工单元装备注入智能创新活力。

参考文献

- [1] 蒋贤海,张铁,谢存禧.数控机床智能远程监控系统[J].组合机床与自动化加工技术,2014(9):77-79.
- JIANG Xianhai, ZHANG Tie, XIE Cunxi. Study on the intelligent tele-monitoring system of CNC machine[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2014(9): 77-79.
- [2] 李志华.基于控制器局域网的直接数字控制机床远程故障诊断与监控系统[J].机械科学与技术,2008,27(3):365-369.
- LI Zhihua. Design of a remote fault diagnosis and supervising system for a DNC (Direct Numerical Control) machine tool[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2008, 27(3): 365-369.
- [3] 杨振朝.整体涡轮电火花加工工艺研究[D].西安:西北工业大学,2006.
- YANG Zhenchao. Research on machining technique of solid turbine with EDM[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2006.
- [4] 高罗卿,庄源昌.基于OPC技术实现WINCC与FANUC数控机床的监控系统设计[J].制造技术与机床,2019(1):169-172.
- GAO Luoqing, ZHUANG Yuanchang. Design of monitoring system for WINCC and FANUC NC machine tools based on OPC technology[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2019(1): 169-172.
- [5] 郑晓虎,刘强,孙鹏鹏,等.基于MT Connect的机床远程多功能监控系统[J].组合机床与自动化加工技术,2018(10):80-84.
- ZHENG Xiaohu, LIU Qiang, SUN Pengpeng, et al. Machine remote multifunctional monitoring system based on MT Connect[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2018(10): 80-84.
- [6] 唐翔,鲍可进.基于ARM的水射流数控机床实时监控与报警系统[J].仪器技术与传感器,2018(1):76-80.
- TANG Xiang, BAO Kejin. Real-time monitor and alarm system of water-jet CNC based on ARM[J]. Instrument Technique and
- Sensor, 2018(1): 76-80.
- [7] STMicroelectronics.STM32F107 Datasheet[M]. Geneva: STMicroelectronics, 2015.
- [8] 何虎,孙东江,郭建梅,等.智能化电火花成形机床远程监控维护系统的研究与设计[J].电加工与模具,2017(2):17-22.
- HE Hu, SUN Dongjiang, GUO Jianmei, et al. Study and design of remote monitoring and maintenance system for intelligent sinking electro-discharge machines[J]. Electromachining & Mould, 2017(2): 17-22.
- [9] 任玉珠.基于CAD/CAM模具设计与制造的研究[J].制造业自动化,2011,33(5):17-20.
- REN Yuzhu. The research of design and manufacture based on CAD/CAM mould[J]. Manufacturing Automation, 2011, 33(5): 17-20.
- [10] 杨彬.面向云制造的三维CAD/CAM集成研究[D].武汉:华中科技大学,2015.
- YANG Bin. 3D-CAD/CAM integration oriented to cloud manufacturing[D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2015.

通讯作者:郭建梅, E-mail: gjm971@163.com。

Research on Cloud Service Platform Construction and Verification of Electrical Discharge Machining Machine Tools

GUO Jianmei^{1,2}, HE Hu^{1,2}, LIU Jianyong^{1,2}, SUN Dongjiang^{1,2}, CAI Yanhua^{1,2}, HAN Xiao^{1,2}

(1. Beijing Institute of Electro-Machining, Beijing 100191, China;

2. Beijing Key Laboratory of Electrical Discharge Machining Technology, Beijing 100191, China)

[ABSTRACT] In order to improve the service life and maintenance efficiency of electrical discharge machining (EDM) machine tools, reduce the process difficulty of EDM for difficult-to-machine materials and complex structural parts in the fields of aviation, aerospace and energy, and improve the sharing and convenience of processing technology services, key technology research on cloud service platform construction of EDM machine tools was carried out, including the system architecture design of platform, design and implementation of software and hardware. Based on the platform, the remote EDM process service test of turbine disk, which is the key component of aero-engine, and the cloud-base operation monitoring of EDM machine tools are carried out, and the validity of the platform is verified.

Keywords: Electrical discharge machining; Cloud service platform; Verification of EDM; Turbine disk; Craft service

(责编 海山)