

# 社群化工厂的内涵、体系架构与运行逻辑探讨\*

江平宇, 刘 超

(西安交通大学机械制造系统工程国家重点实验室, 西安 710054)

**[摘要]** 在当前社群化制造背景下,结合信息物理系统 CPS 与社交网络技术,提出一种信息-物理-社交互联的、面向个性化产品生产的社群化工厂概念。给出了社群化工厂的相关定义,研究了社群化工厂的体系架构与运行逻辑,进而讨论了社群化工厂的关键使能技术。通过一个案例验证了社群化工厂实施的可行性。社群化工厂对揭示社群化制造在制造节点层面的组织形态、配置机理、运行逻辑等方面具有指导意义,并为未来工厂的构建提供了一种思路。

**关键词:** 社群化制造; 社群化工厂; 信息-物理-社交互联; 社交传感器; 多主体交互

**DOI:** 10.16080/j.issn1671-833x.2017.07.026



江平宇

教授、博士生导师,研究方向主要为制造服务系统工程、服务型制造系统等。

当前,在物联网 IoT、信息物理融合系统 CPS、云计算、大数据分析、社交网络媒介等新兴信息技术驱动下,以航空制造、3D 打印等为代表的制造业已呈现出以下特征:

\* 基金项目: 国家自然科学基金(71571142)。

(1) 产品个性化: 一方面,随着用户的个性化需求越来越被重视,产品生产模式向大规模个性化方向发展,用户与制造工厂交互,参与个性化产品全生命周期活动,成为“产消者”;另一方面,用户可通过开源(Open Source)和开放式产品架构(Open Product Architecture)的方式,自主配置与设计个性化产品<sup>[1]</sup>。

(2) 制造资源社会化: 爆炸式的个性化需求催生了大量小微企业、初创公司、作坊,甚至是个人创业者等社会化制造资源,通过商务社交和自组织方式形成各类社群,并以社群为依托开展业务合作<sup>[2]</sup>。

(3) 互联集成化: “互联网+制造”环境下,资源、数据/信息、业务等与制造过程相关的要素广泛互联与集成,涵盖企业内外业务信息、人、系统、设备之间的物物互联、信息互联、服务互联和社交互联<sup>[3]</sup>。

上述制造业特征催生了社群化制造模式<sup>[2,4-5]</sup>(Social Manufacturing,

SocialM)的形成。该模式通过社会化泛在互联和商务社交,将分散的社会化制造资源以自组织方式聚类形成多形态的资源社群,以资源社群为主体自主参与分散的个性化产品生产。其中,制造工厂或车间作为 SocialM 的一个节点,其节点之间的信息-物理-社交互联与智能化是实现 SocialM 的基础。SocialM 模式下的制造工厂或车间应满足以下需求:

(1) 制造工厂内部人、设备、工件、损耗性资源(如刀具、夹具等)、传感器、信息系统等生产要素应实现异构互联。

(2) 客户与工厂应实现社交互联,其个性化需求能准确快速地直达工厂的特定设备工位或工序。

(3) 制造工厂内,人、机、物等生产主体之间应实现去中心化自主交互与协作。

(4) 对生产过程中的多源异构传感数据、交互上下文数据等进行实时计算与处理,并在个性化产品制造

链上进行信息共享,应辅助各生产主体完成实时智能决策。

围绕上述需求并结合工业 4.0 战略要求,国内外学者从 CPS 驱动的制造工厂配置的角度开展了一系列的研究。美国 Cincinnati 大学提出了一种面向企业制造车间 CPS 互联配置的 5C 架构体系<sup>[6]</sup>;匈牙利科学院综述了 CPS 在制造中的应用,并提出了信息物理生产系统的概念(Cyber-Physical Production Systems, CPPS)<sup>[7]</sup>;美国佐治亚理工大学提出了通过社交网络来实现多主体之间基于云的产品设计与制造的方法<sup>[8]</sup>;西安交通大学提出了一种用于人机交互的社交传感器,并将其与 CPS 结合,提出了信息物理社交融合系统(Cyber-Physical Social Systems, CPSS)的概念<sup>[9]</sup>。然而,上述研究仅从制造工厂或制造车间的角度进行了人-机-物互联的配置,甚少考虑在 SocialM 模式下外部用户与制造工厂内部人、设备、数据、信息系统的互联,用户个性化需求与工厂直连以及人-机-物多主体交互与协作等需求。在分析上述文献和作者前期研究<sup>[9-10]</sup>的基础上,结合 CPS 与社交网络技术,提出一种面向个性化产品生产的、基于信息-物理-社交互联的制造工厂模型——社群化工厂(Social Factory)。

## 社群化工厂的提出

### 1 相关概念与定义

为便于理解社群化工厂的内涵,本文对社群化工厂相关概念术语进行了定义。

定义 1——社交传感器(Social Sensor, S<sup>2</sup>ensor):指辅助完成个性化产品制造过程中的人-机-物生产主体的社交交互,并对交互过程中的主观数据和客观数据进行采集、计算/处理、传输和存储的一类软硬件结合体。S<sup>2</sup>ensor 的硬件部分包括:移动终端设备、可穿戴式设备、嵌入式物理传感器、嵌入式智能面板以及蓝

牙/无线网络模块等;S<sup>2</sup>ensor 的软件部分包括:各类移动 APPs、嵌入智能设备中的中间件、视频/语音/图片/文字处理与识别的各类算法与应用。

定义 2——信息-物理-社交融合节点(Cyber-Physical-Social Node, CPSN):以加工设备、运输小车、工件等制造资源为基体,通过将传感器、执行器、控制器、嵌入式智能面板以及 S<sup>2</sup>ensor 等模块异构互联与集成,形成的一类可对外主动感知与通讯交互的个体。CPSN 能与其他 CPSN 以及人员进行自主交互与决策,在社群化工厂具体体现为加工工位 CPSN、运输小车 CPSN、智能工件 CPSN 等。

定义 3——信息-物理-社交互联网络(Cyber-Physical-Social-Interconnected Network):指在 SocialM 模式下,产消者、制造工厂内部人员以及各类制造资源 CPSN 通过在信息空间、物理空间和社交空间 3 个维度建立数据/信息互联、业务互联、服务互联等互联互通关系,形成的个性化产品生产过程交互与协作的“社交网络”。

定义 4——社群化工厂(Social Factory):指建立在信息-物理-社交互联基础上的、面向用户个性化需求与深度参与的制造工厂。社群化工厂是个性化产品制造链中的节点,用以完成产品全生命周期特定阶段的制造任务。

### 2 社群化工厂的体系架构

如图 1 所示,社群化工厂的体系架构分为 4 个层次,包括:

(1)物理连接层:该层为社群化工厂的人-机-物交互与协作提供物理硬件层面的异构互联支持。根据个性化产品生产过程中的具体要求与制造逻辑,为加工机床工位、运输小车、工件等配置传感器、控制/执行模块、人机交互接口 HMI、网络网关等,形成各类制造资源 CPSN。CPSN 之间通过网络网关与相关通讯协议(如 MTConnect、TCP/IP 等)进行互联,实现资源间的即时通讯和资源的即插即生产(Plug-and-Produce)配置。

(2)信息聚合层:该层在中间件、制造数据库、Web 服务器的共同作用下完成对物理连接层的制造过

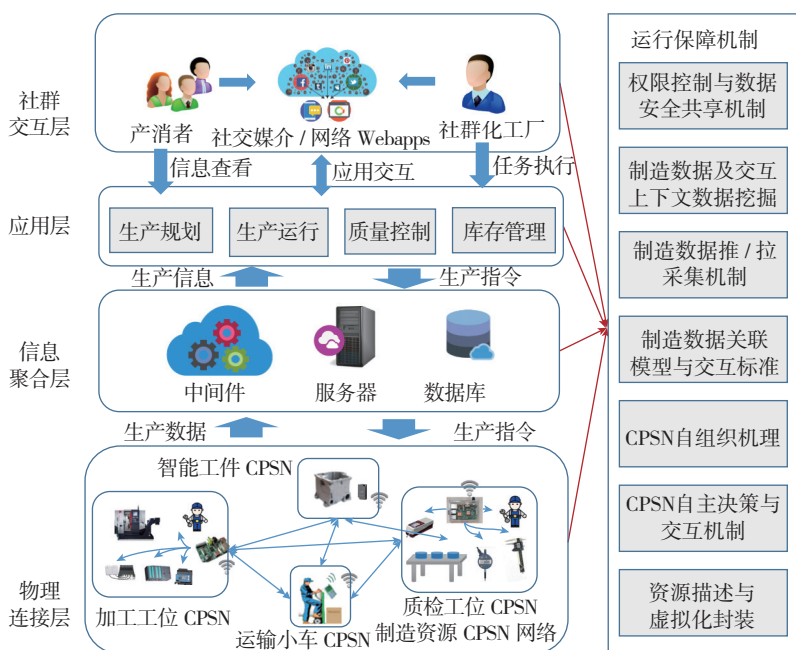


图1 社群化工厂体系架构

Fig.1 Architecture of social factory

程实时传感数据、应用层的生产指令数据和交互上下文数据的聚合。其中,中间件是对物理连接层的 CPSN 进行虚拟化封装,并为应用层提供统一数据访问接口;制造数据库用于存储各生产主体之间的社交数据、制造过程数据、规则/知识库等;Web 服务器保障中间件和制造数据库的稳定运行。

(3)应用层:社群化工厂运行的各种应用集合,包括生产规划、生产运行、质量控制等应用模块,每个模块以若干 Webapp 的形式呈现。

(4)社群交互层:产消者和社群化工厂内的员工围绕个性化产品的制造过程,通过 Webapp 与 CPSN 进行交互,实现生产进度跟踪、生产运行管控等。

以上 4 个层次在资源描述与虚拟化封装、CPSN 自主交互与决策机制、制造数据及社交上下文数据挖掘等运行保障机制的支撑下,从制造系统的角度出发构成了社群化工厂的体系架构。

### 3 社群化工厂的特征

区别于传统制造工厂,社群化工厂具有以下 3 个方面的显著特征:

(1)个性化用户需求直达工厂与用户深度参与制造过程:社群化工厂聚焦于满足用户的个性化需求,通过  $S^2$ sensor 实时接收用户的需求,并将其转化为生产指令,直接介入个性化产品生产过程。用户通过与社群化工厂内的员工、CPSN 等的交互,获取参与感、情怀和价值体现。

(2)信息-物理-社交互联的生产环境:基于社群化工厂内部的信息-物理-社交互联,实现了员工、设备、物料、信息系统之间协作与数据共享,进而实现了生产过程实时管控;基于社群化工厂外部的信息-物理-社交互联,实现了用户与社群化工厂的实时交互与反馈,进而实现了动态柔性生产和即时响应。

(3)人-机-物动态交互、协作

与共享:信息-物理-社交互联网络是一个包含有产消者、社群化工厂内部的人员、各类 CPSN 的“社交网络”。网络中的成员通过  $S^2$ sensor 进行人人、人机、机机、机人等方式交互与决策,自组织形成了围绕个性化产品生产的动态自治生产网络。在此基础上,各类 CPSN 与人员自主交互、协作与数据共享,处理生产过程中的非预期性事件或扰动,实现去中心化地生产控制。

### 社群化工厂的运行逻辑

社群化工厂是个性化产品生命周期中生产环节中的关键节点,如图 2 所示,产消者通过  $S^2$ sensor 与社群化工厂内的管理者、员工以及加工工位、质检工位等制造资源 CPSN 进行交互,把产品制造需求直接传递给社群化工厂内的 CPSN,并接收社群化工厂在个性化产品生产过程中的生产进度、生产质量、实时制造数据等。同时,在社群化工厂内部,管理者、员工与加工工位、质检工位等 CPSN 作为自主交互主体,在  $S^2$ sensor 多种交互模式支持下根据产消者需求(转化为智能工件加工需求)以及加工设备能力,进行自主交互、协作与数据共享,完成个性化产品的生产。如图

2 所示,多主体去中心化的自主交互与协作的主要流程包括:

Step1:产消者与社群化工厂中各生产主体进行交互,确认在质量、交货期等方面的具体需求。

Step2:仓库 CPSN 与智能工件 CPSN 交互,并向智能工件 CPSN 写人工序、工艺、质量、完工期等信息。

Step3:智能工件 CPSN 向所有的加工工位 CPSN 广播加工需求(工艺、质量、完工期等信息),每个加工工位 CPSN 接收到广播信息后,根据目前的加工任务队列以及加工需求评估自身是否满足加工能力和生产能力,所有满足要求的加工工位 CPSN 在云服务器的协助下从成本、完工时间等方面进行匹配、谈判与决策,确定合适的加工工位。

Step4:被确定的加工工位 CPSN 向运输小车 CPSN 发送运输指令,将智能工件运输至工位的人缓存处等待加工。

Step5:在该工序加工完成后,智能工件 CPSN 广播质量检测需求,每个质量检测工位 CPSN 收到广播信息后,根据目前的质检任务队列以及检测需求,评估自身是否满足质检要求,所有满足要求的质检工位 CPSN 在云服务器的协助下从成本、检测时

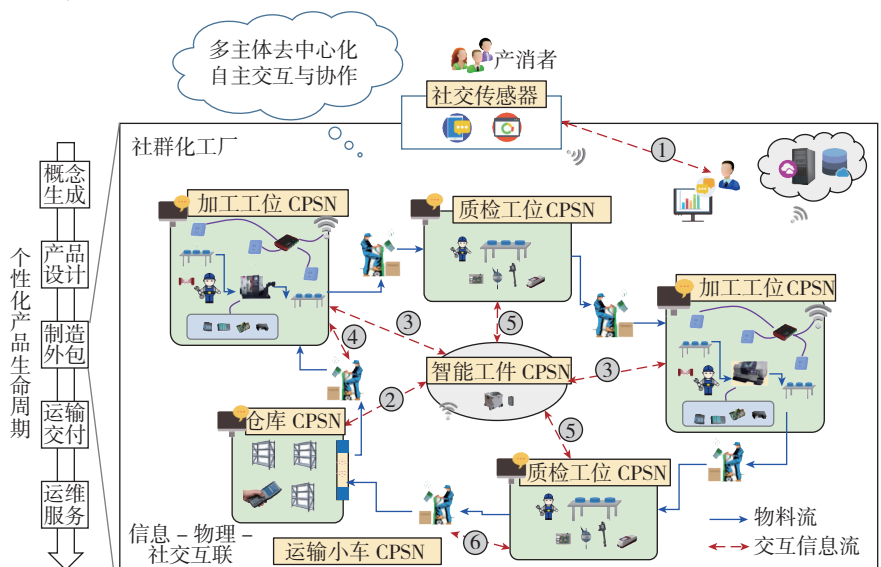


图2 信息-物理-社交互联驱动的社群化工厂

Fig.2 Cyber-physical-social interconnected driven social factory

间等方面进行匹配、谈判与决策,确定合适的质检工位。

Step6: 完成质检任务后,质检工位 CPSN 向运输小车 CPSN 发送运输指令,将智能工件运输至下一个加工工位。若已完成最后一道工序,则运输至仓库。

## 社群化工厂关键使能技术

本部分从信息-物理-社交互联环境的配置、制造过程数据/交互上下文数据分析与处理、多主体去中心化自主交互与协作 3 个方面对社群化工厂的关键使能技术进行阐述,它们之间的关系如图 3 所示。

### 1 信息-物理-社交互联环境的配置

实现信息-物理-社交互联是社群化工厂运行的基础,通过对物理空间的资源进行连接、信息空间的数据进行聚合、社交空间的交互关系进行分析,构建信息-物理-社交互联生产环境。从信息-物理-社交互联硬件配置角度,关键技术包括异构设备物理互联、统一描述模型、Web 化封装技术等;从信息-物理-社交互联软件配置角度,关键技术包括制造数据推/拉采集机制、制造数据预处理方法、统一数据访问接口设计等。

### 2 制造过程数据/交互上下文数据分析与处理

在个性化产品生产过程中会产生大量的过程数据和交互数据,通过对这些混杂无序的数据进行清洗去噪、关联融合,形成制造数据集,然后采用统计分析、机器学习等方法对其进行分析与处理,实现生产设备预警、订单完工期预测、生产过程质量控制等智能决策。该关键技术为多主体自主交互与协作提供决策支持,包括多传感器数据融合技术、制造数据多维度关联建模、基于自然语言处理的交互上下文数据挖掘等。

### 3 多主体去中心化自主交互与协作

围绕个性化产品的生产,产消者、社群化工厂中的管理者、员工以及各

类制造资源 CPSN 通过 S<sup>2</sup>ensor 进行自主交互与协作,满足了产消者个性化需求,同时也优化了生产过程的资源配置。该关键技术包括交互主体统一的交互协议与数据格式、生产指令生成机制、制造资源自组织机制、交互过程死锁预防与冲突消解策略等。

## 案例简介

以某制造企业生产的可配置开源硬件桌面级 3D 打印机为例,来验证社群化工厂的运行逻辑。首先,对加工工位、质检工位、运输小车、加工工件、仓库等制造资源配置传感器(能耗、振动、温湿度、噪声等)、RFID 设备(天线、标签、读写器)、测

量设备(三坐标测量仪、粗糙度测量仪、数显卡尺等)、智能嵌入式面板(如 Raspberry Pi)、HMI、网络网关设备、执行器等,并通过异构设备互联技术、设备统一描述模型等构建信息-物理-社交互联的硬件环境。然后,在资源 Web 化封装技术、制造数据采集推/拉机制与预处理方法、统一数据访问接口设计等关键技术支撑下开发部署相关中间件、Webapps、服务器、数据库等,构建信息-物理-社交的软件环境,如图 4 (a)所示。在此基础上,社群化工厂与产消者通过社交网络、移动终端进行交互,并采用基于自然语言处理的交互上下文数据挖掘技术提取

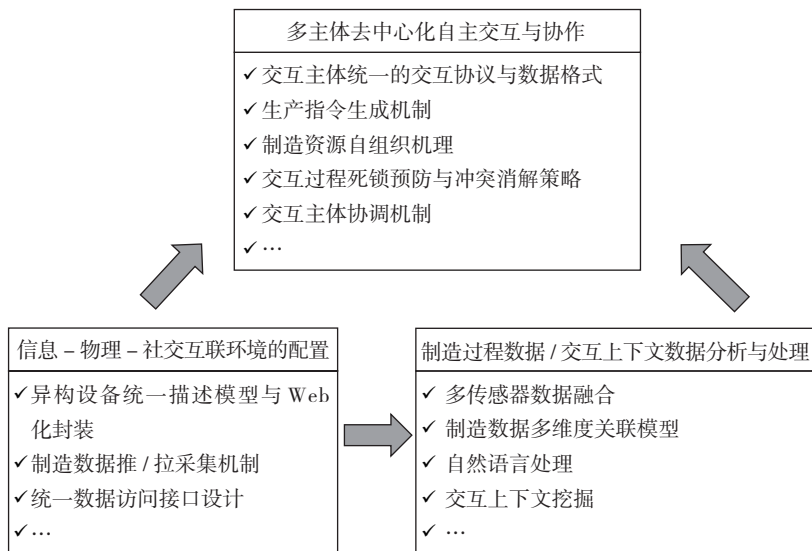


图3 社群化工厂关键使能技术及其关系

Fig.3 Key enabling technologies of social factory and their relations



图4 社群化工厂运行案例

Fig.4 Operation case of social factory

个性化产品生产的需求信息,组织个性化产品生产;同时,为了更好地获取用户需求,社群化工厂建立了一个产品用户的交流论坛,从中提取交互上下文,用于挖掘产消者的个性化产品需求,如图4(b)所示。在生产过程中,一方面,制造资源CPSN、产消者、社群化工厂管理者与员工等通过统一的交互协议与数据格式以及交互过程的死锁预防与冲突消解策略进行个性化产品生产过程的交互;另一方面,在多传感器数据融合、制造数据多维关联模型以及制造数据分析处理等关键技术支撑下,开发了产品生产过程各类移动Webapp,产消者可以利用其查看产品的加工进度与加工质量信息,社群化工厂管理者与员工可以利用其远程查看设备的状态,并对设备相关指标进行分析,如设备的日均有效工作时间、设备故障率等,如图4(c)所示。

### 结束语

本文基于当前社群化制造背景下的产品个性化、制造资源社会化、生产组织分散化、互联集成化等特征,提出一种信息-物理-社交互连的、面向个性化产品生产的社群化工厂概念,并对社群化工厂的内涵、配

置流程、运行逻辑以及关键技术进行了探讨和研究。目前国内外尚未对社群化工厂进行系统化的研究,许多理论方法还不够完善,但社群化工厂作为当前社群化制造中的一个节点,对揭示社群化制造在制造节点层面的组织形态、配置机理、运行逻辑等方面具有指导意义。特别是在工业4.0与“中国制造2025”战略驱动下,社群化工厂与新兴信息技术的结合,将迸发出旺盛的生命力,并为未来工厂的构建提供了一种思路。

### 参考文献

- [1] KOREN Y, HU S J, GU P, et al. Open-architecture products[J]. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 2013,62(2):719-729.
- [2] 江平宇,丁凯,冷杰武,等. 服务驱动的社群化制造模式研究[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(6):1637-1649.
- JIANG Pingyu, DING Kai, LENG Jiewu et al. Service-driven social manufacturing paradigm[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2015, 21(6):1637-1649.
- [3] YAO X, JIN H, ZHANG J. Towards a wisdom manufacturing vision[J]. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2015,28(12):1291-1312.
- [4] 江平宇,丁凯. 基于多维度演化模型的制造模式社群化趋势分析[J]. 计算机集成制造系统, 2016,22(9):2245-2255.
- JIANG Pingyu, DING Kai. Socialization

trend analysis of manufacturing mode based on multi-dimensional evolution model[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2016,22(9):2245-2255.

[5] JIANG P Y, LENG J W, DING K, et al. Social manufacturing as a sustainable paradigm for mass individualization[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 2016,230(10):1961-1968.

[6] LEE J, BAGHERI B, KAO H. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems[J]. Manufacturing Letters, 2015,3: 8-23.

[7] MONOSTORI L, KÁDÁR B, BAUERNHANSL T, et al. Cyber-physical systems in manufacturing[J]. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 2016,65(2):621-641.

[8] WU D, SCHAEFER D, ROSEN D W. Cloud-based design and manufacturing systems: a social network analysis[C]//Proceeding of 19th International Conference on Engineering Design (ICED), Atlanta, 2013.

[9] DING K, JIANG P Y. Incorporating social sensors and CPS nodes for personalized production under social manufacturing environment[J]. Procedia CIRP, 2016, 56:366-371.

[10] JIANG P Y, DING K, LENG J W. Towards a cyber-physical-social-connected and service-oriented manufacturing paradigm: social manufacturing[J]. Manufacturing Letters, 2016,7:15-21.

通讯作者: 江平宇, E-mail: pjiang@mail.xjtu.edu.cn。

## Discussion on the Implication, Architecture and Operation Logic of Social Factory

JIANG Pingyu, LIU Chao

(State Key Laboratory for Manufacturing Systems Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710054, China)

**[ABSTRACT]** Under the emerging social manufacturing context, a personalized product production-oriented cyber-physical-social interconnected social factory combined with cyber-physical systems and social networks is proposed. The definition of relevant terms is clarified, the architecture and operation logic of social factory are presented, based on which the key enabling technologies are discussed. Feasibility and efficiency of the proposed social factory is verified through a case study. The social factory theory makes a further step to reveal the organization form, configuration mechanism, and operation logic of social manufacturing from network nodes perspective, and provides a novel insight for the building of future factory.

**Keywords:** Social manufacturing; Social factory; Cyber-physical-social interconnected; Social sensor; Multiagent interaction

(责编 叶枫)