基于工业互联网的制造与服务融合技术

张卫^{1,2,3}, 石涌江², 唐任仲³, 顾新建³, 田景红^{1*}

1. 浙江师范大学浙江省城市轨道交通智能运维技术与装备重点实验室, 金华 321004;

2. 剑桥大学工程系制造研究院, 剑桥 CB3 0FS, 英国;

3. 浙江大学流体动力与机电系统国家重点实验室, 杭州 310027

* E-mail: tian_jh@163.com

收稿日期: 2021-07-21; 接受日期: 2021-10-15; 网络版发表日期: 2021-11-18

国家自然科学基金(批准号: 51205353)、国家社会科学基金(编号: 17BGL086)、浙江省重点研发计划(编号: 2019C01134)和浙江省软科学计划(编号: 2021C35041)资助项目

摘要 制造与服务融合是智能制造的重要内容之一, 服务要素渗透到制造各个环节中形成了生产性服务与制造服务化。本文从工业互联网的商业视角、使用视角、功能视角、实现视角建立了制造与服务融合中虚拟逻辑与实体活动交互的技术体系, 针对商业视角下的制造与服务融合价值链, 提出了生态位驱动的制造与服务横向价值链融合方法; 针对使用视角下的制造与服务融合产业链, 提出了供应链驱动的制造与服务纵向产业链融合方法; 针对功能视角下的制造与服务融合模块化, 提出了大数据驱动的制造与服务融合模块化方法; 针对实现视角下的制造与服务融合管理平台, 提出了物联网驱动的制造与服务融合管理平台方法。本文构建的制造与服务融合技术体系, 深化了工业互联网在制造业与服务业中的应用, 为数字经济中制造服务产业的技术创新奠定基础。

关键词 工业互联网, 制造与服务横向价值链融合, 制造与服务纵向产业链融合, 制造与服务融合模块化, 制造与服务融合管理平台

1 引言

在中国制造业转型升级进程中, 制造业与服务业融合成为重要研究主题, 特别是《中国制造2025》战略将服务型制造与生产性服务列为智能制造的重点之一, 促进了制造与服务融合的深入研究。国内外工程界的制造服务实践, 使得制造企业获得创新之路, 提升了企业竞争力。学术界的制造服务研究也呈现多样化局面, 从制造业方面研究制造服务化模式^[1-3], 从服务业角度研究生产性服务运作模型^[4-6], 从信息化方向研究

产品服务系统^[7-9], 从管理学理论研究制造新模式演化^[10], 从智能制造技术研究云制造^[11,12]与制造物联^[13]等。这些理论与实践为制造与服务融合研究提供了坚实基础。

制造与服务融合研究源于国外生产性服务^[14], 生产性服务主要提供中间需求性质的服务产品, 即服务企业向制造企业提供^[15]的服务。国内的生产性服务主要为制造部门服务^[16], 并与制造业互动, 进而融合。生产性服务更多的关注点在制造业信息化领域, 比如制造服务成熟度、制造服务平台、制造服务系统等。制

引用格式: 张卫, 石涌江, 唐任仲, 等. 基于工业互联网的制造与服务融合技术. 中国科学: 技术科学, 2022, 52: 104-122

Zhang W, Shi Y J, Tang R Z, et al. Research on manufacturing and service integration technology based on industrial internet (in Chinese). Sci Sin Tech, 2022, 52: 104-122, doi: [10.1360/SST-2021-0305](https://doi.org/10.1360/SST-2021-0305)

造与服务在企业实践中出现服务化倾向, 制造业服务化的核心思想是制造企业基于有形产品的服务来增强产品竞争力, 并逐渐将服务作为价值创造的重要来源^[17]. 服务要素在制造业的全部投入中占据越来越重要的地位, 服务成分在制造业的全部产出中占据越来越重要的地位^[18,19]. 制造业服务化是制造企业向终端用户提供的服务, 比如复杂装备的维修服务、产品服务系统^[20]等. 服务型制造是制造与服务相融合的新产业形态, 是新的生产模式^[21]. 服务型制造将生产性服务和制造业服务化结合起来为制造与服务融合研究提供了新思路. 对于服务创新、现代制造服务^[22]运作模式等研究也是从整体角度的有益尝试. 智能制造领域出现的云制造和制造物联等新制造模式, 提供了新工业革命的运作环境. 随着5G等技术突破, 将加速制造与服务融合, 实现实时的运作与管理.

工业互联网是新一代信息通信技术与工业经济深度融合的全新工业生态、关键基础设施和新型应用模式, 通过对人、机、物的全面连接, 不断颠覆传统制造模式、生产组织方式和产业形态, 构建起全要素、全产业链、全价值链、全面连接的新型工业生产制造和服务体系, 为实体经济数字化、网络化、智能化发展提供了实现途径^[23,24]. 工业互联网源于美国通用公司, 集成了大数据技术和各类分析工具, 并通过无线网络将工业设备连接起来. 工业互联网在新工业革命中成为重要的支撑技术, 也是智能制造的核心技术之一, 与德国工业4.0、中国制造2025的核心含义相同. 工业互联网平台通过工业云和工业大数据实现海量工业数据的集成、处理和分析, 同时作为新模式新业态, 实现智能化生产、网络化协同、个性化定制、服务化延伸等.

本文根据美国工业互联网参考架构, 从商业、使用、功能、实现四个视角构建了制造与服务融合的技术体系, 以生态位、供应链、大数据、工业云为基础提出制造与服务横向价值链融合技术、制造与服务纵向产业链融合技术、制造与服务融合模块化技术、制造与服务融合管理平台技术等.

2 基于工业互联网的制造与服务融合技术体系

服务企业、制造企业和终端用户在制造与服务融

合中产生制造服务活动, 工业互联网技术提供了更好的制造与服务融合环境. 云计算、物联网、大数据、边缘计算、工业智能等技术深度应用于制造业与服务业, 使得制造与服务融合更为便捷. 在制造业的服务外延与服务业的制造内涵等概念明确之后, 来建立一套基于工业互联网的制造与服务融合技术体系.

2.1 制造与服务融合的本质

制造与服务融合的本质是制造服务活动, 制造服务活动是在制造产品与提供服务过程中产生的各种业务, 这些业务部分是生产性服务, 部分是制造服务化. 制造与服务融合一方面在产品制造中外延服务要素, 另一方面在服务提供中内涵制造要素, 而提供给终端用户的是产品服务系统, 淡化了制造与服务的界限. 为了便于研究, 可以假设服务企业、制造企业、终端用户作为制造服务主体来组织制造服务活动, 在三个制造服务主体之间组成商业生态系统^[25], 应用工业互联网来实现制造服务活动的信息化与智能化.

制造与服务融合一般通过生产性服务与制造服务化来实现, 以这些制造服务活动为基础可以生成更为复杂的制造服务活动组合, 一般采用模块化方法来实现. 将制造与服务融合过程中的部分活动组成制造服务模块, 确定这些模块之间的关系, 以制造服务方案来调度这些制造服务模块, 就可以生成满足终端用户个性化需求的制造服务系统.

2.2 制造与服务融合基本概念

新工业革命背景下基于工业互联网的制造与服务融合基本概念如下^[26].

(1) 服务企业. 服务企业是为制造企业提供服务的企业, 服务可以是配套产品, 也可以是生产性服务. 服务企业以服务创新为主, 从制造企业那里获得业务, 需要分析制造企业需求, 与制造企业互动, 共同规划产品服务系统, 承担其中的服务要素.

(2) 制造企业. 制造企业是为终端用户提供服务的, 企业, 服务可以是产品, 也可以是产品服务系统. 制造企业以产品创新为主, 从终端用户那里获得业务, 需要分析终端用户个性化需求, 与服务企业互动, 共同规划产品服务系统, 承担其中的产品要素.

(3) 终端用户. 终端用户是产品或服务的最终使用者, 通过支付价值实现产品或服务流通. 终端用户以订

单选择为主, 选购企业提供的服务或产品, 或提出个性化需求驱动企业制造产品或提供服务。

(4) 生产性服务. 生产性服务是服务企业和制造企业之间进行制造与服务融合, 服务企业提供各类制造企业需要的服务, 或者制造企业将部分服务业务外包给服务企业. 生产性服务以服务要素参与制造服务活动, 创造价值并分配价值。

(5) 制造服务化. 制造服务化是制造企业和终端用户之间进行制造与服务融合, 制造企业通过不断增强产品的服务特性来满足终端用户的个性化需求, 最后形成产品服务系统. 制造服务化以产品要素和服务要素参与制造服务活动, 创造价值并分配价值。

2.3 基于工业互联网的制造与服务融合技术体系

制造与服务融合是制造业服务外延和服务业制造内涵的共同结果. 制造业与服务业的界限趋向模糊, 产品中包含服务, 服务中依托产品, 制造与服务融合的过程始于市场竞争与企业利润的驱动, 终于制造服务系统的持续改进. 在工业互联网技术支撑下, 制造与服务融合的复杂业务活动智能化成为可能, 依靠工业物联网将机器、生产线、规划师、财务人员、操作工等各类资源互联互通, 共享基础数据; 利用工业大数据分析历史数据, 针对各类制造服务活动进行决策; 应用工业云在制造与服务融合管理平台上统一调度资源, 优化制造服务方案, 满足各类制造服务主体的个性化需求。

美国工业互联网联盟2015年发布了工业互联网参考架构(2019年发布了1.9版的IIRA), 成为企业开发部署工业互联网解决方案的指导框架. 工业互联网参考架构包括商业视角、使用视角、功能视角、实现视角四个层级^[27-29]. 从工业互联网系统要实现的商业目标出发, 明确其运行和操作的主要任务, 进而确定工业互联网的核心功能、关键系统及相互关系. 基于工业互联网四个视角的制造与服务融合技术体系主要包括商业视角下生态位驱动的制造与服务横向价值链融合技术、使用视角下供应链驱动的制造与服务纵向产业链融合技术、功能视角下大数据驱动的制造与服务融合模块化技术、实现视角下工业云驱动的制造与服务融合管理平台技术。

基于工业互联网技术构建适合制造服务活动运作的环境与平台, 利用价值链与产业链刻画制造与服务

融合机制, 从支撑技术到机理分析, 从价值模型到产业结构, 工业互联网中的制造与服务融合技术体系以服务企业、制造企业、终端用户等制造服务主体业务活动为目标, 以基于商业生态系统的生产性服务与制造服务化为方法, 在多学科技术为基础的支持下, 解决制造与服务融合大数据技术、制造与服务融合价值链理论、制造与服务融合产业链理论等关键问题, 为智能制造中制造服务产业的发展奠定基础. 基于工业互联网的制造与服务融合技术体系如图1所示. 首先从商业视角确定市场需求, 识别制造服务价值; 其次从使用视角明确基本能力, 规划制造服务活动; 然后从功能视角设计制造服务, 实现制造服务模块; 最后从实现视角提供智能平台, 融合制造服务系统。

3 工业互联网商业视角下生态位驱动的制造与服务横向价值链融合技术

工业互联网商业视角下确定利益相关者, 并建立工业互联网系统的商业愿景、价值和目标. 价值链连接制造服务主体的价值需求, 以生态位确定企业价值权重, 使得各类制造服务主体创造价值. 服务企业通过服务规划与服务实施创造的价值是服务价值; 制造企业通过产品设计与产品制造创造的价值是产品价值; 终端用户以订单选择与订单支付创造的价值是顾客价值. 在各类制造服务主体博弈合作中实现制造与服务横向价值链融合。

3.1 基于生态位的制造与服务横向融合价值链模型

产品价值以价值创造为契机, 各种新制造模式为动力, 成为价值链上的重要组成部分. 制造与服务横向融合的价值链设计, 首先要设计产品价值活动, 比如产品原材料采购、产品功能设计、产品工艺设计、产品加工、产品装配、产品销售、产品服务化等. 设计产品价值活动是制造企业的关键任务. 在新工业革命支持下, 价值链设计的产品价值活动部分以产品生产为核心, 与服务价值活动交互, 协同价值链。

服务价值也是价值链上的重要组成部分, 只考虑服务对象为制造企业的生产性服务. 制造与服务横向融合的价值链设计也包含服务价值活动的设计, 比如服务需求分析、服务时间规划、服务人员安排、服务

图 1 (网络版彩图)基于工业互联网的制造与服务融合技术体系

Figure 1 (Color online) Manufacturing and service integration technology system based on industrial internet.

提供步骤、服务交付过程、服务质量评价等。设计服务价值活动是服务企业的任务。在商业生态系统中, 价值链设计的服务价值活动部分以服务提供为核心, 与产品价值活动交互, 协同价值链。

在工业互联网支持下, 制造与服务融合价值链设计更加智能化, 以产品服务系统为目标, 组织各类产品业务与服务业务, 设计相互关联的产品服务化、服务产品化、生产性服务等活动, 创造产品价值、服务价值、顾客价值, 统称为制造服务价值, 并分配制造服务主体之间的制造服务价值, 实现制造与服务融合价值链的优化。生态位是指制造服务模块获取和配置

优势资源及生产要素等综合能力的大小, 生态位概念可以表征制造服务模块控制资源状况、对商业生态系统环境的适应性以及拓展资源能力^[25]。基于生态位的制造与服务横向融合价值链模型如图2所示。

3.2 制造与服务横向融合的价值创造机理

制造与服务横向融合在价值链维度实现价值创造与价值分配, 其中价值创造是服务企业、制造企业、终端用户在价值链活动中围绕产品与服务的生产、实施、使用而实现的各类价值。价值创造主要包括价值识别、价值主张、价值交付等过程, 价值识别确定制

图 2 (网络版彩图)基于生态位的制造与服务横向融合价值链模型
Figure 2 (Color online) Value chain model of horizontal integration of manufacturing and service based on Niche.

造服务主体的价值需求, 价值主张确定制造服务主体的价值内涵, 价值交付确定制造服务主体的价值获得. 制造与服务横向融合的价值创造机理就是针对价值识别、价值主张、价值交付的建模与求解. 制造与服务横向融合的价值创造机理如图3所示.

商业生态系统(business ecosystem, BE)指一群相互连结, 共同创造价值与分享价值的企业, 它是利益相关者之间构成的动态结构系统^[25], 这些利益相关者包括客户、生产商、供应商、投资商、贸易合作伙伴、政府、标准制定机构、社会公共服务机构等. 在商业生态系统中, 制造服务主体具有各自的生态位, 并在市场竞争环境下根据制造与服务融合的价值链来动态调整生态位, 其中价值识别是寻求利益相关者的价值需求. 制造服务主体采用模糊语言来描述期望中的价值, 表达价值需求, 构建价值属性集合. 制造服务平台从制造服务主体的显性语言表达中, 结合商业生态系

统环境, 找出潜在隐性需求, 识别出价值需求的共性内容和潜在冲突, 确定制造服务价值.

制造与服务融合的价值主张在制造服务主体之间取得利益相关者一致同意, 开发价值内涵. 在商业生态系统中, 基于终端用户的个性化服务需求识别, 制造企业以产品服务定制方式, 通过产品服务设计开发组合定制, 为终端用户提供满足价值需求的制造服务. 价值主张依据终端用户的价值需求, 将制造服务的价值属性与属性水平进行组合, 并结合制造与服务融合业务, 配置制造服务方案.

制造与服务融合的价值交付是制造企业或服务企业依据协议在制造服务价值交付网络中交付价值. 在商业生态系统中, 服务交付由于终端用户的实时需求会导致服务属性的变化, 比如交互现场、时间属性、人员属性等, 因此需要针对制造服务配置的最佳方案进行本地化实施, 就是根据顾客动态需求来优选配置

图 3 (网络版彩图)制造与服务横向融合的价值创造机理

Figure 3 (Color online) Value creation mechanism of horizontal integration of manufacturing and service.

方案的服务属性。

3.3 制造与服务横向融合的价值分配策略

制造与服务横向融合在价值链维度实现价值创造与价值分配, 其中价值分配是制造服务主体在价值链活动中针对各自的价值主张来设计利润分配模式。服务企业以服务价值为对象, 从服务能力、产品能力、管理能力等方面来分配价值; 制造企业以产品价值为对象, 从产品竞争、服务融合、顾客体验等方面来分配价值; 终端用户以顾客价值为对象, 从顾客支付、服务利润、产品利润等方面来分配价值。制造与服务横向融合的价值分配策略如图4所示。

在商业生态系统中, 制造服务主体具有各自的价值主张, 并在市场竞争环境下根据制造与服务横向融合的价值链来动态调整制造服务价值。服务企业以服务价值为主, 各类服务价值主张可以分为服务能力价值、生产能力价值、管理能力价值等, 针对服务业务, 以服务能力为目标构建价值模型, 并制定服务能力规则, 来确定服务能力价值; 针对制造与服务横向融合

中的生产业务, 以生产能力为目标构建价值模型, 并制定生产能力规则, 来确定生产能力价值; 针对管理业务, 以管理能力为目标构建价值模型, 并制定管理能力规则, 来确定管理能力价值。

制造企业以产品价值为主, 将各类产品价值主张分为产品竞争价值、服务融合价值、顾客体验价值等, 针对产品质量, 以产品竞争为目标构建价值模型, 并制定产品竞争规则, 来确定产品竞争价值; 针对制造与服务横向融合中的服务增强, 以服务融合为目标构建价值模型, 并制定服务融合规则, 来确定服务融合价值; 针对产品使用, 以顾客体验为目标构建价值模型, 制定顾客体验规则, 来确定顾客体验价值。

终端用户以顾客价值为主, 将各类服务价值主张分为顾客支付价值、产品利润价值、服务利润价值等, 针对交易业务, 以顾客支付为目标构建价值模型, 并制定顾客支付规则, 来确定顾客支付价值; 针对制造与服务横向融合中的产品交易, 以产品利润为目标构建价值模型, 并制定产品利润规则, 来确定产品利润价值; 针对服务交易, 以服务利润为目标构建价值模

图 4 (网络版彩图)制造与服务横向融合的价值分配策略
Figure 4 (Color online) Value distribution strategy of horizontal integration of manufacturing and service.

型, 制定服务利润规则, 来确定服务利润价值.

4 工业互联网使用视角下供应链驱动的制造与服务纵向产业链融合技术

工业互联网使用视角下以任务为牵引, 确定工业互联网系统使用过程中人或逻辑用户的活动序列. 产业链将制造服务主体连接起来形成商业生态系统, 同时以供应链调度资源配置, 以生态位确定企业位置, 使得各类制造服务主体有序运作, 实现制造与服务纵向产业链融合. 同时采用模块化方法组织产业模块的集成, 应用工业智能支持产业模块的协同, 在各类制造与服务融合产业的功能与流程映射中, 实现制造服务产业运作.

4.1 基于供应链的制造与服务纵向融合产业链模型

制造产业以产业分工为契机, 以各种新制造模式为动力, 成为产业链上的重要组成部分. 制造与服务纵向融合的产业链设计, 首先要设计制造产业, 比如

产品研制产业设计、产品加工产业设计、产品装配产业设计、产品进销存产业设计、产品服务化产业设计等. 制造产业设计是制造企业的关键任务. 在新工业革命支持下, 产业链设计的制造产业部分以产品生产为核心, 与服务产业交互, 协同产业链.

服务产业也是产业链上的重要组成部分, 只考虑服务对象为制造企业的生产性服务. 制造与服务纵向融合的产业链设计也要包括服务产业设计, 比如融资产业设计、人力提供产业设计、物资配送产业设计、配套服务产业设计、原材料加工产业设计、产品营销服务产业设计、产品维修产业设计等. 服务产业设计是服务企业的关键任务. 在商业生态系统中, 产业链设计的服务部分以服务提供为核心, 与制造产业交互, 协同产业链.

在工业互联网支持下, 制造与服务融合产业链设计更加智能化, 以产品服务系统为目标, 组织各类产品产业与服务产业, 进行产品资源配置, 纵向融合为制造服务产业. 智能运作系统为融合设计相互关联的产品加工装配和产品服务实施等业务的功能与流程,

集成产品模块与服务模块, 协同制造服务主体之间的业务功能与业务流程, 实现制造与服务融合产业链的运作. 基于供应链的制造与服务纵向融合产业链模型如图5所示.

4.2 面向生产性服务的制造与服务纵向集成融合

服务企业为制造企业提供的中间性质服务, 没有交付给终端用户的服务都可以看作生产性服务, 这类服务在产品的产业链上提供重要支持, 可以提升制造企业的核心竞争力. 制造企业可以专注于自身擅长业务, 特别是中小企业可以将企业的短板让渡给服务企业来做, 使得服务企业与制造企业优势互补, 分工协作更为紧密. 在制造与服务融合中, 服务企业与制造企业的业务相互渗透是关键之一, 服务企业提供的就是生产性服务, 这些零散的服务需要用产业链将其纵向集成. 在工业智能的支撑下, 生产性服务产业链纵向集成, 可以将一个个生产性服务作为节点, 各个节

点集成起来解决制造与服务的融合问题.

生产性服务产业链纵向集成, 是以制造企业产业链业务为依据, 将提供的业务服务集成为一个统一的模型. 在新工业革命背景下, 为产业链纵向集成提供了便捷的工业智能技术. 可以在智能制造服务平台支撑下实现产业链纵向集成, 可以采用模块化方法, 将产品或服务细化为功能模块与流程模块, 分别根据具体业务设计模块, 并提供功能模块与流程模块的交互渠道, 实现生产性服务产业链纵向集成. 面向生产性服务的制造与服务纵向集成融合如图6所示.

生产性服务功能融合通过纵向集成来实现, 制造企业以产品制造产业确定产业链上的生态位, 生成产品功能模块; 而服务企业以产品服务产业确定产业链上的生态位, 生成服务功能模块. 产品功能模块和服务功能模块统称为制造服务功能模块. 纵向集成功能集成就是将制造服务功能模块按照设定的规则存储管理, 集成在智能制造服务平台上.

图5 (网络版彩图) 基于供应链的制造与服务纵向融合产业链模型

Figure 5 (Color online) Vertical integration industrial chain model of manufacturing and service based on supply chain.

图 6 (网络版彩图)面向生产性服务的制造与服务纵向集成融合

Figure 6 (Color online) Vertical integration of manufacturing and service oriented to producer services.

生产性服务流程融合通过纵向集成来实现, 流程集成与功能集成类似, 更注重对应功能的实现时间序列。制造企业以产品功能模块确定业务执行步骤, 生成产品流程模块; 而服务企业以服务功能模块确定服务提供策略, 生成服务流程模块。产品流程模块和服务流程模块统称为制造服务流程模块。纵向集成的流程集成就是将制造服务流程模块按照设定的规则存储管理, 集成在智能制造服务平台上。

4.3 面向制造服务化的制造与服务纵向协同融合

服务企业、制造企业、终端用户之间围绕某个产品形成一条连接前端、中端、后端的各个产业的链条, 就是产业链。产业链上每个制造服务主体都作为一个节点存在, 节点以生态位表征其重要程度与影响力, 这样在制造服务化过程中既构成了产业链, 也实现了制造与服务的纵向融合。融合过程中各个节点的价值

主张、业务活动、资源分配都存在协同问题, 只有解决了纵向协同问题, 才能实现制造与服务的融合。

制造服务化产业链纵向协同的内容繁杂, 在产业链上的各类增值服务模式层出不穷, 可以构建一个统一的模型来处理。在新工业革命背景下, 为产业链纵向协同提供了便捷的工业智能技术, 可以在智能制造服务平台支撑下实现产业链纵向协同, 同样是采用模块化方法, 将产品或服务细化为功能模块与流程模块, 分别根据具体活动设计模块, 并提供功能模块与流程模块的协同交互渠道, 实现制造服务化产业链纵向协同。面向制造服务化的制造与服务纵向协同融合如图7所示。

制造服务化功能融合通过纵向协同来实现, 制造企业以产品制造产业确定产品与服务, 生成产品服务功能模块; 而终端用户以产品资源产业确定顾客需求, 生成需求功能模块。产品服务功能模块和需求功能模块统称为制造服务功能模块。功能协同就是根据制造

图 7 (网络版彩图)面向制造服务化的制造与服务纵向协同融合

Figure 7 (Color online) Manufacturing service oriented vertical collaborative integration of manufacturing and service.

服务功能模块之间的业务逻辑设计协同规则与协同模式,并在智能制造服务平台上存储管理。

制造服务化流程融合通过纵向协同来实现,流程集成与功能集成类似,更注重对应功能的实现时间序列。制造企业以产品服务功能模块确定业务执行步骤,生成产品服务流程模块;而终端用户以需求功能模块确定产品服务要求,生成需求流程模块。产品服务流程模块和需求流程模块统称为制造服务流程模块。纵向协同的流程协同就是在智能制造服务平台上协同制造服务流程模块,并进行存储管理。

5 工业互联网功能视角下大数据驱动的制造与服务融合模块化技术

工业互联网功能视角下确定工业互联网系统的功

能要素、相互关系、接口及交互方式。工业大数据将生产数据、服务数据、产品数据等多源异构的大数据集成起来,驱动制造与服务业务,同时促进了制造与服务融合。通过工业物联网进行采集,利用工业云进行存储,在制造与服务融合管理平台上进行分析决策,将制造服务主体在融合过程中的各类大数据进行感知、分析、决策,以此来驱动制造服务活动,在商业生态系统中提供各类业务的大数据支持。

5.1 基于大数据的制造与服务融合模块化方法

制造与服务融合大数据感知主要包括大数据采集和大数据存储。大数据采集是通过工业物联网来实现的,工业物联网以物联网与传感器技术,将制造与服务融合中的服务企业、制造企业、终端用户资源连接,集中获取与处理各类实时数据。工业物联网可以支

持制造场景的大数据感知, 也可以满足服务场景的大数据感知. 在工业物联网环境中, 制造与服务融合大数据能够实现多源采集、分布处理、实时传递, 进而提升制造业信息化水平.

工业物联网提取制造服务主体的各类业务实时数据, 获取生产过程与服务过程的感知信息. 在大数据分析, 在大数据分析中, 工业物联网也提供大数据清洗与转换功

能, 将采集数据映射变换, 统一数据格式, 进而协同管理大数据. 采用RFID标签与读写器提取服务大数据、生产大数据、产品大数据, 通过应用程序接口与硬件设备接口获取制造与服务融合大数据, 以此来支持制造与服务融合模块化. 基于大数据的制造与服务融合模块化方法如图8所示.

基于大数据的应用维度模块化是将管理维度和技

图 8 (网络版彩图)基于大数据的制造与服务融合模块化方法

Figure 8 (Color online) Modularization method of manufacturing and service integration based on big data.

术维度集合起来,支持具体制造与服务融合的应用,应用维度也基于模块化思想进行设计.针对制造与服务融合,一般的功能模块划分为产品或技术的研发模块、服务的设计和开发模块、产品/服务的管理模块、服务的执行和传递模块、其他增值服务支持模块等,每个服务模块又包含若干子模块,每个服务模块都是基于服务功能和服务流程.

基于大数据的管理维度模块化是企业从管理角度运作制造服务,在大数据环境下,为服务模块化创造了基础,将抽象的服务划分为适当的模块来管理.利用模块化思想,将制造与服务融合需求分解成若干服务模块后,分别设计服务模块,将设计好的服务模块组合为制造服务系统,提供给用户.

基于大数据的技术维度模块化依据管理维度的模块划分结果,以技术实现产品/服务模块.将产品/服务模块从功能和流程两方面模块化,以协同设计方式实现各个功能模块,服务企业和制造企业通过协同技术确定具体的服务功能;以仿真设计方式实现各个流程模块,服务企业依据产品和服务功能确定具体的服务流程.服务功能、服务流程与产品/服务模块相互映射,形成技术和管理维度的相互映射.

5.2 工业大数据驱动的制造服务模块构建智能分析

制造服务模块构建智能分析为制造服务系统演化智能决策提供分析模式,在各类分析主题的建模中,规范决策活动主要方式,然后针对每个具体主题分析,构建分析方法,以大数据分析基础理论确定分析过程.制造与服务融合模块化的数据来源主要有产品模块数据、服务模块数据、产品制造数据、服务实施数据、产品检测数据、服务管理数据等,通过这些工业大数据支持制造服务系统的动态演化决策,根据制造与服务融合方案选择制造服务模块,进而将制造服务模块集成为制造服务系统.

工业大数据驱动的制造服务模块构建智能分析是制造服务主体大数据决策的基础.针对制造服务系统演化过程中的模块选择、演化方式、演化动力、集成策略、系统优化等活动,进行产品设计智能优化、服务规划智能优化、产品模块封装、服务模块封装、模块存储管理等大数据分析,进而为制造服务系统演化智能决策奠定基础.工业大数据驱动的制造服务模块构建智能分析如图9所示.

Step 1 产品设计智能优化.针对生产资源的约束将设计方案结合产品工艺进行优化设计,为智能生产提供支持,它将理论设计映射为生产设计,以适应智能工厂中产品的智能生产.

Step 2 服务规划智能优化.针对服务资源的约束,规划满足服务任务的最佳资源配置方案,同时在时间序列上调度虚拟服务与实体产品.

Step 3 产品模块封装.将产品资源虚拟化,根据封装规则存储于制造服务平台上等候调用.规范化的产品模块是制造与服务融合的核心.

Step 4 服务模块封装.将服务资源规范化,以虚实结合的方式封装具体服务,与产品模块统一接口,便于配置制造服务系统.

Step 5 模块存储管理.将产品模块与服务模块标准化存储,统一编码,为决策调度提供支持,存储方式与封装接口一一对应.

5.3 工业大数据驱动的制造服务系统演化智能决策

制造与服务融合的智能决策为企业、制造企业、终端用户的业务活动提供知识支持,在各类决策问题的建模中,规范业务活动主要模式,然后针对每个具体决策问题,构建求解方法,以大数据决策基础理论建立求解算法.利用工业大数据驱动在制造企业角度的决策主题集中在制造服务模块的调度,是制造与服务融合的核心部分,将产品与服务相互融合,提供制造服务系统来满足终端用户个性化需求.

工业大数据驱动的制造服务系统演化智能决策是将封装好的制造服务模块按照需求进行优化组合,实时调用,演化为制造服务系统.制造服务模块演化过程中需要操作人员、演化状态数据、演化任务数据、优化算法库等工业大数据来驱动.工业大数据驱动的制造服务系统演化智能决策如图10所示.

Step 1 智能决策数据准备.制造企业与服务企业的制造服务模块通过工业物联网连接,以大数据采集与存储实现工业大数据感知,并提供了制造服务模块的大数据分析.

Step 2 制造服务模块库.针对系统大数据,设计模块化资源,便于系统集成与管理.制造服务模块资源集合主要有操作人员参数、任务优先级、演化参数等.

Step 3 演化状态数据集成.根据系统大数据确定演化状态,包括实时位置、运行时间、性能指标等,将

图 9 (网络版彩图)工业大数据驱动的制造服务模块构建智能分析
Figure 9 (Color online) Intelligent analysis of manufacturing service module construction driven by industrial big data.

演化状态数据以实时数据模型来集成。

Step 4 制造服务模块集成. 以任务大数据组织数据集成, 以演化模型、模块匹配、状态参数集成演化状态, 并提供候选任务集。

Step 5 制造服务系统调度优化. 基于层次分析法建立演化任务调度, 从规则、优先级、模块、时间、成本、质量等目标优化模块分配与任务匹配, 在优化算法库中选取优化算法, 确定最优任务。

6 工业互联网实现视角下工业云驱动的制造与服务融合管理平台技术

工业互联网实现视角下确定实现功能要素的关键技术、通信方式和生命周期流程。制造与服务融合需要通过管理平台来沟通制造服务主体的业务往来, 而工业互联网技术提供了较好的平台方案。以一切即服务模式来架构制造与服务融合管理平台, 以工业物联

网连通制造服务主体, 以工业大数据分析制造服务活动, 以工业云调度制造服务资源, 从而实现制造与服务融合。制造与服务融合的价值链横向融合、产业链纵向融合、制造服务活动模块化通过平台来实现。

6.1 基于物联网的制造与服务融合管理平台设计

制造与服务融合管理平台架构以工业互联技术来建立制造服务业务运作的管理环境, 平台以面向服务的制造为理念, 以工业互联网为基础, 借用云制造架构模式来设计。从工业互联网实现视角, 采用模块化方法设计基于价值链的横向融合与基于产业链的纵向融合。平台架构从制造服务主体的融合资源出发, 进行信息化、服务化、智能化, 为制造与服务融合提供技术支持。

制造与服务融合管理平台架构采用分布式结构, 将制造服务主体的多源数据感知, 以工业大数据分析决策来支撑制造与服务融合管理活动。制造与服务

图 10 (网络版彩图)工业大数据驱动的制造服务系统演化智能决策

Figure 10 (Color online) Intelligent decision-making of manufacturing service system evolution driven by industrial big data.

融合管理平台通过对制造资源、服务资源、订单资源的封装处理,进行虚拟化和模块化,并以产品模块和服务模块组装各类制造服务系统,最终以制造服务系统与终端用户交易获取高利润。基于物联网的制造与服务融合管理平台设计如图11所示。

6.2 汽车行业制造与服务融合管理平台分析

汽车行业产业链长、覆盖面广,上游涉及钢铁、石化、橡胶、玻璃等产业,下游涉及金融、保险、维修、租赁等产业。汽车行业的制造与服务融合案例较多,都比较零散,总体上,汽车零部件企业、原材料供应企业、汽车技术研究院等可以作为服务企业;汽车加工装配企业可以作为制造企业;汽车消费者可以作为终端用户。同时为汽车加工装配企业提供服务称之为

为生产性服务,为汽车消费者提供产品与服务称之为制造服务化。

(1) 汽车行业制造与服务横向融合价值链

基于工业互联网的汽车行业制造与服务融合管理平台的核心业务之一就是实现汽车行业制造与服务横向融合价值链。分析汽车行业各类制造服务活动,以价值链设计制造与服务横向融合,进行价值识别、价值主张、价值交付等制造服务价值创造。同时在制造服务主体之间进行制造服务价值分配。以汽车制造企业的个性化定制系统为例,主要价值链活动有电商平台、整车编码服务、汽车BOM平台、生产计划模式、制造执行系统、企业服务总线接口、用户订单实时跟踪等,汽车服务企业与汽车制造企业共同提供个性化定制系统给汽车消费者,各自主张制造服务价值,

图 11 基于物联网的制造与服务融合管理平台设计
Figure 11 Design of manufacturing and service integration management platform based on internet of things.

并参与分配汽车制造服务价值。

(2) 汽车行业制造与服务纵向融合产业链

基于工业互联网的汽车行业制造与服务融合管理平台的核心业务还有实现汽车行业制造与服务纵向融合产业链。分析汽车行业各类制造服务产业,以产业链设计制造与服务纵向融合,进行汽车产业模块功能集成与流程集成。同时在汽车制造服务主体之间进行汽车产业功能与流程协同、汽车产业产品与服务协同。以汽车制造企业的出行服务为例,主要产业链活动有专车、帮忙取送、自驾游、绿色公务、亲密账户、签约保姆车等,吉利集团成立曹操出行,采用新能源汽

车、公车公营、认证司机等模式,通过纵向整合公务商旅人士出行前、出行中并延伸到出行目的地的需求,在产业链上实现汽车行业制造服务化。

(3) 汽车行业制造与服务融合管理平台

国内外领军企业提供了几种典型的工业互联网主流平台,可以作为构建汽车行业制造与服务融合管理平台的参考。比如通用公司提供的GE Predix平台面向汽车、风电、制造、运输等行业的调度物流、连接产品、产品分析、运营优化等应用场景,包括边缘服务、云平台、应用服务等;西门子公司提供的MindSphere平台是一种基于云的开放式物联网操作系统,

可以实时连接机器和物理基础设施等,采用应用层、开放PaaS层、连接层等多层架构,实现平台服务、网关服务、边缘和分析服务、运营管理服务等;海尔公司提供的COSMOPlat平台引入用户全流程参与体验,实现大规模定制,主要包括用户交互、研发创新、智能制造、智能物流、协同采购、智能服务、精准营销等功能,通过技术基础模块、核心价值模块、融合服务工具等能力来实现。

汽车行业制造与服务融合管理平台的功能模型确定平台功能目标、核心功能、基础功能、扩展功能等,采用边缘计算技术支撑制造与服务融合;而流程模型是在商业生态系统中确定平台业务过程、核心业务流程、业务协同流程等,在生态位约束下各类制造服务功能对应的流程实现。在平台上功能模型与流程模型相互映射,实现制造与服务融合管理。以边缘计算驱动制造与服务融合管理平台的功能模型,以工业云驱动制造与服务融合管理平台的流程模型,功能与流程模型构建方法类似,下面仅分析汽车行业制造与服务融合管理平台的功能模型。

汽车行业制造与服务融合管理平台的功能分析可以利用工业互联网技术实现制造服务主体需求的实时感知、大数据分析、工业云调度等基础功能,同时以模块化方法封装各类汽车行业制造与服务融合的业务功能,分别进行设计实现。汽车行业制造与服务融合业务简称制造服务业务,主要包含汽车产品业务、汽车服务业务、汽车订单业务等,通过模块化设计生成汽车产品模块、汽车服务模块、汽车订单模块等。通过模块组装就可以生成汽车制造服务系统来实现各类功能。功能设计将特定企业的需求映射为功能,并组织相关资源实现功能,各类功能需要与需求一一对应,并具有普适性,在汽车行业形成规模化的功能群,以此组成汽车行业制造与服务融合平台的功能集合。

工业互联网中,以汽车制造服务业务的模块化设计为基础,进行汽车行业制造与服务融合设计,主要包括汽车行业制造与服务横向融合的价值链设计、汽车行业制造与服务纵向融合的产业链设计、平台基础服务功能设计等。汽车行业制造与服务融合功能设计依赖于工业互联网技术与工业大数据管理,具体分为若干功能大类,每大类中包含具体的核心功能与扩展功能,并且平台的具体功能随着历史数据更新与实时需求反馈动态化调整。汽车行业制造与服务融合管理

平台功能模型如图12所示,各个核心功能需要根据行业特色来确定,比如生态位计算就是在汽车商业生态系统中,以市场份额与企业竞争力为依据来计算各个利益相关者的重要程度,在创造价值中,获得价值链上的生态位。

7 结论与讨论

本文的主要结论是:(1)从制造与服务融合的整体角度,以生产性服务和制造服务化为基础,建立了一种基于工业互联网的制造与服务融合运行环境,从工业物联网、工业大数据、工业云等方面形成制造与服务融合随时随地运作的支撑环境;(2)将工业互联网的商业、使用、功能、实现四个视角引入制造与服务融合研究,提出了一组在工业互联网环境中制造与服务融合方法,该方法从商业视角研究价值链、从使用视角研究产业链、从功能视角研究模块化、从实现视角研究管理平台,较好地解决了制造与服务融合中的技术难点;(3)将工业互联网技术融入制造与服务融合应用,构建了一套基于工业互联网的制造与服务融合技术体系,该体系从制造与服务融合大数据模块化技术、制造与服务横向价值链融合技术、制造与服务纵向产业链融合技术等方面将分散的制造与服务资源集成起来共同创造价值,提高了制造企业的核心竞争力,有效融合了制造和服务。

制造企业通过服务化提升竞争力,服务企业通过生产性服务获得更多价值,终端客户随着产品和服务的集成供应得到更多实惠,这些工程实践促进了制造与服务融合,进而促进新工业化的升级转型。因此,本文解决了如何构建基于工业互联网的制造与服务融合方法来满足制造服务主体个性化的制造与服务需求的问题。由于制造企业、服务企业和终端用户的分布式、离散型和复杂性特点,在工业互联网中必须提供制造与服务融合方法以适应个性多变的制造服务需求,制造与服务融合的实现包括横向价值链融合和纵向产业链融合。因此,本文构建了一套制造与服务横向价值链融合方法和制造与服务纵向产业链融合方法,该方法适用于各类制造业与服务业,特别是在制造业服务延伸与服务制造内涵方面理清了制造与服务融合机制,可以实现服务创新与产品创新,并催生制造服务产业,带来巨大的社会影响。同时,为企业竞争与

图 12 (网络版彩图)汽车行业制造与服务融合管理平台功能模型
Figure 12 (Color online) Functional model of manufacturing and service integration management platform in automobile industry.

合作提供了良好的工业互联网平台，可以带来较好的社会效益。

需指出的是，本文关于制造与服务融合的研究，还缺乏工业实例的应用，原因是国内现有工业应用的探索还处于初始阶段，制造与服务融合是一个系统工程，业务模式复杂多样。企业的服务化意识不强，制造与服务融合模式没有标准化，少数企业实践的效果不均衡，还需要多学科交叉来面对工业应用的深入研究。针对制造与服务融合技术而言，还有一些问题需要讨论。

(1) 制造与服务融合大数据方面，工业大数据应用涉

及制造服务主体的私有信息保护，特别是涉及价值分配方面的金融信息不可获取。对于制造服务主体的大数据安全和区块链应用等方面还需要深入研究。

(2) 制造与服务横向价值链融合方面，制造服务主体的价值主张差异较大，特别是终端用户与服务企业之间的价值交换中服务质量与服务价格很难统一策略，终端用户与制造企业之间的价值交换存在个性化定制效应，制造企业与服务企业之间关于外包业务价值博弈也是价值分配难点。在制造与服务融合管理平台的交易模式问题也值得探讨。

(3) 制造与服务纵向产业链

融合方面, 制造服务系统集成生命周期理论需要结合产业链完善, 从生态学角度探究不同演化阶段的演化

机制是一个重要方向. 对于商业生态系统与制造服务系统在演化中的协同机制需要进一步分析.

参考文献

- 1 Neely A, Ng I, Roy R. Complex engineering service systems. *J Service Manage*, 2014, 25: 54–64
- 2 Wilkinson A, Dainty A, Neely A. Changing times and changing timescales: The servitization of manufacturing. *Inter J Operat Product Manag*, 2009, 29: 31–43
- 3 Baines T, Lightfoot H, Evans S, et al. State of the art in product-service systems. *J Eng Manuf Part B*, 2007, 19: 1543–1594
- 4 Evans S, Partidário P J, Lambert J. Industrialization as a key element of sustainable product-service solutions. *Int J Production Res*, 2007, 45: 4225–4246
- 5 Partidário P J, Lambert J, Evans S. Building more sustainable solutions in production-consumption systems: The case of food for people with reduced access. *J Cleaner Production*, 2007, 15: 513–524
- 6 Lettice F, Wyatt C, Evans S. Buyer-supplier partnerships during product design and development in the global automotive sector: Who invests, in what and when? *Int J Production Economics*, 2010, 127: 309–319
- 7 Zhu Q Q, Jiang P Y, Zhang M, et al. Configuration and operation architecture for product service systems of CNC machine tools (in Chinese). *Comput Integrated Manufact Syst*, 2009, 15: 1140–1147 [朱琦琦, 江平宇, 张明, 等. 数控加工装备的产品服务系统配置与运行体系结构研究. 计算机集成制造系统, 2009, 15: 1140–1147]
- 8 Gu X J, Li X, Qi G N, et al. Theory and key technology of product service system (in Chinese). *J Zhejiang Univ (Eng Sci)*, 2009, 43: 2237–2243 [顾新建, 李晓, 祁国宁, 等. 产品服务系统理论和关键技术探讨. 浙江大学学报(工学版), 2009, 43: 2237–2243]
- 9 Jiang P Y, Zhu Q Q, Zhang D H. Industrial product service system and its current research (in Chinese). *Comput Integrated Manufact Syst*, 2011, 17: 2071–2077 [江平宇, 朱琦琦, 张定红. 工业产品服务系统及其研究现状. 计算机集成制造系统, 2011, 17: 2071–2077]
- 10 Jiang Z B, Lin W J, Wang K Z, et al. Theory, Model and Practice of New Manufacturing Model in the Future (in Chinese). Beijing: Tsinghua University Press, 2020. 71–97 [江志斌, 林文进, 王康周, 等. 未来制造新模式理论、模式及实践. 北京: 清华大学出版社, 2020. 71–97]
- 11 Li B H, Zhang L, Wang S L, et al. Cloud manufacturing: A new service-oriented manufacturing model (in Chinese). *Comput Integrated Manufact Syst*, 2010, 16: 1–7 [李伯虎, 张霖, 王时龙, 等. 云制造——面向服务的网络化制造新模式. 计算机集成制造系统, 2010, 16: 1–7]
- 12 Li B H, Chai X D, Hou B C, et al. Cloud manufacturing system 3.0—New intelligent manufacturing system in era of “Intelligence+” (in Chinese). *Comput Integrated Manufact Syst*, 2019, 25: 2997–3012 [李伯虎, 柴旭东, 侯宝存, 等. 云制造系统3.0——一种“智能+”时代的新智能制造系统. 计算机集成制造系统, 2019, 25: 2997–3012]
- 13 Yao X F, Yu M, Chen Y, et al. Connotation, architecture and key technologies of internet of manufacturing things (in Chinese). *Comput Integrated Manufact Syst*, 2014, 20: 1–10 [姚锡凡, 于淼, 陈勇, 等. 制造物联网的内涵、体系结构和关键技术. 计算机集成制造系统, 2014, 20: 1–10]
- 14 Greenfield H. Manpower and the Growth of Producer Services. New York: Columbia University Press, 1966. 55–76
- 15 Heasley M J, Ilbery B W. Location & Change: Perspective of Economic Geography. London: Oxford University Press, 1990. 132–153
- 16 Gu N H, Bi D D, Ren W B. Relationship between producer services’ development and manufacturing’s competence in china during transition period—An empirical research based on panel data (in Chinese). *China Indust Econom*, 2006, 18: 14–21 [顾乃华, 毕斗斗, 任旺兵. 中国转型期生产性服务业发展与制造业竞争力关系研究. 中国工业经济, 2006, 18: 14–21]
- 17 Drucker P F. The emerging theory of manufacturing. *Harvard Business Rev*, 1990, 19: 123–145
- 18 Szalavetz A. Tertiarization of manufacturing industry in the new economy: Experiences in Hungarian companies. *Hungarian Academy Sci Working Papers*, 2003, 44: 76–90
- 19 Lin L, Wu G S. The empirical study of enforcing the differentiation mechanism of enterprise services in China manufacture (in Chinese). *Management World*, 2007, 23: 103–113 [蔺雷, 吴贵生. 制造企业服务增强差异化机制的实证研究. 管理世界, 2007, 23: 103–113]
- 20 Mont O K. Clarifying the concept of product-service system. *J Cleaner Production*, 2002, 10: 237–245
- 21 Sun L Y, Li G, Jiang Z B, et al. Service-embedded manufacturing: Advanced manufacturing paradigm in 21st century (in Chinese). *China Mech Eng*, 2007, 18: 2307–2312 [孙林岩, 李刚, 江志斌, 等. 21世纪的先进制造模式——服务型制造模式. 中国机械工程, 2007, 18: 2307–2312]
- 22 Zhang X M, Dan B, Han X P. Modern Manufacturing Services: Theory and Practice (in Chinese). Beijing: Science Press, 2015. 55–67 [张旭梅, 但斌, 韩小鹏. 现代制造服务: 理论与实践. 北京: 科学出版社, 2015. 55–67]

- 23 Zhou J, Li P G. Introduction to Intelligent Manufacturing (in Chinese). Beijing: Higher Education Press, 2021. 111–115 [周济, 李培根. 智能制造导论. 北京: 高等教育出版社, 2021. 111–115]
- 24 Usländer T. Agile service-oriented analysis and design of industrial internet applications. *Procedia CIRP*, 2016, 57: 219–223
- 25 Zhang W, Shi Y J, Gu X J, et al. Theory and technology of mobile manufacturing service based on business ecosystem (in Chinese). Beijing: Science Press, 2016. 32–34 [张卫, 石涌江, 顾新建, 等. 基于商业生态系统的移动制造服务理论与技术. 北京: 科学出版社, 2016. 32–34]
- 26 Zhang W, Li R W, Pan X H. Intelligent Service Manufacturing Theory and Technology Under the Environment of Industrial 4.0 (in Chinese). Beijing: Science Press, 2017. 25–28 [张卫, 李仁旺, 潘晓弘. 工业4.0环境下的智能制造服务理论与技术. 北京: 科学出版社, 2017. 25–28]
- 27 Li J Q, Yu F R, Deng G, et al. Industrial internet: A survey on the enabling technologies, applications, and challenges. *IEEE Commun Surveys Tutorials*, 2017, 19: 1504–1526
- 28 Zhao M. Six supporting elements of industrial Internet platform—Interpretation of the white paper on industrial Internet platform (in Chinese). *China Mech Eng*, 2018, 29: 1000–1007 [赵敏. 工业互联网平台的六个支撑要素——解读《工业互联网平台白皮书》. 中国机械工程, 2018, 29: 1000–1007]
- 29 National Manufacturing Power Construction Strategy Advisory Committee. Intelligent Manufacturing (in Chinese). Beijing: Electronic Industry Press, 2016. 214–230 [国家制造强国建设战略咨询委员会. 智能制造. 北京: 电子工业出版社, 2016. 214–230]

Research on manufacturing and service integration technology based on industrial internet

ZHANG Wei^{1,2,3}, SHI YongJiang², TANG RenZhong³, GU XinJian³ & TIAN JingHong¹

¹ Zhejiang Provincial Key Laboratory of Urban Rail Transit Intelligent Operation and Maintenance Technology and Equipment, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China;

² Institute for Manufacturing, Department of Engineering, University of Cambridge, Cambridge CB3 0FS, UK;

³ State Key Laboratory of Fluid Power and Mechatronic System, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China

Integration of manufacturing and service is one of the important contents in intelligent manufacturing. Service elements penetrate into all links of manufacturing, which create producer services and servitization. From the perspectives of business, utilization, function, and realization of industrial internet, a technical system for interaction of virtual logic and physical activities in the integration of manufacturing and service is established. To integrate the value chain of manufacturing and service according to the business perspective of the industrial internet, a niche-driven manufacturing and service horizontal value chain integration method is proposed. According to the utilization perspective of the manufacturing and service integration industry chain of industrial internet, a supply chain-driven manufacturing and service vertical industry chain integration method is proposed. To modularize the manufacturing and service integration from the function perspective of the industrial internet, a big data-driven manufacturing and service integration modularization method is proposed. According to the realization perspective of the industrial internet, a method of manufacturing and service integration management-platform driven by the internet of things is proposed to realize a manufacturing and service integration management platform. The manufacturing and service integration-technology system developed in this paper can accelerate the application of the industrial internet in the manufacturing and service industries and lay the foundation for technological innovation in the digital economy.

industrial internet, horizontal value-chain integration of manufacturing and service, vertical industry chain integration of manufacturing and service, modularization of manufacturing and service integration, management platform of manufacturing and service integration

doi: [10.1360/SST-2021-0305](https://doi.org/10.1360/SST-2021-0305)