

文章编号: 1006- 5911(2011) 03- 0495- 09

中小企业云制造服务平台共性关键技术体系

尹超¹, 黄必清², 刘飞¹, 闻立杰³, 王朝坤³, 黎晓东⁴, 杨书评⁴, 叶丹⁵, 柳先辉⁶

(1. 重庆大学 机械传动国家重点实验室, 重庆 400030; 2. 清华大学 国家 CIMS 工程技术研究中心, 北京 100084;
3. 清华大学 软件学院, 北京 100084; 4. 北京机械工业自动化研究所, 北京 100120;
5. 中国科学院 软件研究所, 北京 100080; 6. 同济大学 企业数字化技术教育部工程研究中心, 上海 200092)

摘要: 为了给我国广大中小企业充分利用和共享社会制造资源、提升企业综合竞争能力提供重要支撑手段, 分析了中小企业云制造服务平台的特点, 建立了中小企业云制造服务平台共性关键技术体系框架, 阐述了中小企业云制造服务平台的主要核心理论和技术、平台标准和规范、平台体系架构、平台共性引擎和共性管理工具、平台服务和运行模式、平台应用体系架构等共性技术方面的研究思路和研究内容, 为进一步深入和系统开展中小企业云制造服务平台的研究、开发、实施和应用奠定了基础。

关键词: 中小企业; 云制造; 服务平台; 共性关键技术; 体系架构

中图分类号: TH 166; TP 391 文献标志码: A

Common key technology system of cloud manufacturing service platform for small and medium enterprises

YIN Chao¹, HUANG Bìqing², LIU Fei¹, WEN Lìjie³, WANG Zhao-kun³, LI Xiao-dong⁴,
YANG Shu-ping⁴, YE Dan⁵, LIU Xian-hui⁶

(1. State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400030, China;
2. State CIMS Engineering & Research Center, Tsinghua University, Beijing 100084, China;
3. School of Software, Tsinghua University, Beijing 100084, China;
4. Beijing Research Institute of Automation for Machinery Industry, Beijing 100120, China;
5. Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China;
6. Engineering Research Center for Enterprise Digital Technology, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Cloud manufacturing service platform for Small and Medium Enterprises (SME) provided effective support for the SME to facilitate utilization and sharing of social manufacturing resources as well as to enhance enterprises' general competitiveness. Features of cloud manufacturing service platform for SME were analyzed, common key technology system architecture of platform was constructed. Meanwhile, research idea and content of common key technology of platform were discussed, including core theory and technology, standards and specifications, system architecture, common engines and common management tools, service mode and operation mode, application architecture et al. Thus, the research laid foundation for the future research, development, implementation and application of cloud manufacturing platform for SME.

Key words: small and medium enterprises; cloud manufacturing; service platform; common key technology; system architecture

0 引言

中小企业量大面广,是我国制造业的重要组成部分,在确保国民经济稳定增长、缓解就业压力、优化经济结构等方面,均发挥着越来越重要的作用。然而随着市场竞争的日趋激烈,我国广大中小企业普遍面临产品研发能力不足、经营管理水平落后、产业链协作能力低下等严峻挑战,因此迫切需要利用先进制造模式及相关技术,快速整合社会制造资源,提升企业的综合竞争能力。

我国制造业信息化工程经过 20 多年的发展,在推进网络化制造^[5]、制造业信息化应用服务提供商(Application Service Provider, ASP)平台^[6-9]等先进制造模式、促进中小企业发展方面,做了大量探索和实践。但由于在服务和运营模式、制造资源共享与分配机制、标准规范、安全控制、平台个性化支持和服务能力、运行机制等方面存在不足和缺陷,制约了网络化制造、ASP 平台等先进制造模式的深入应用及推广,广大中小企业的信息化应用水平仍然不高,已成为我国制造业信息化建设的一个瓶颈。

近年来,随着云计算^[10-11]、物联网^[12-13]等技术的发展和日趋成熟,一种面向服务的网络化制造新模式——云制造应运而生,它是一种利用网络和云制造服务平台,按用户需求组织网上制造资源(制造云),为用户提供各类按需制造服务的一种网络化制造新模式^[14]。基于云制造服务模式的中小企业云制造服务平台将成为我国中小企业充分利用和共享制造资源,提升产品设计、经营管理和生产制造能力,增强企业综合竞争力的重要支撑手段,也是当前我国先进制造领域需要探索的一个重要发展方向。

1 中小企业云制造服务平台的内涵

中小企业云制造服务平台是在网络化制造和 ASP 服务平台等研究的基础上,结合云制造服务模式和中小企业特点,综合应用云计算、云安全、物联网等技术建立的新型网络化制造服务平台,它能有效促进中小企业基于网络的制造资源共享和协同。中小企业云制造服务平台与已有的 ASP 服务平台和网络化制造平台相比,拥有参与资源的广域性、参与资源的多维性、制造服务的深入性、服务交易的可靠性、资源使用的便捷性、平台运维的市场性等特

点,能更好地为中小企业产品全生命周期提供全面的、便捷的、深入的、可靠的、按需定制和优质廉价的各类制造服务。

(1) 参与资源的广域性

中小企业云制造服务平台按照统一标准和规范,将分散在各地的制造资源进行虚拟化描述、封装、发布和集中存储,可消除地域空间限制,实现需求、信息和资源的有序积聚,同时“多对多”的运行服务模式使中小企业云制造服务平台较网络化制造平台具有更加广阔的推广和应用范围。

(2) 参与资源的多维性

中小企业云制造服务平台可支持中小企业制造过程中的各种数据、模型、软件和领域知识等软制造资源标准化接入共享;可实现数控机床、加工中心和计算设备等硬制造资源的网络化集成运行、加工运行过程实时监测和远程维修维护等服务;可促进企业产品全生命周期所需设计、生产、实验和管理等能力资源的共享。

(3) 制造服务的深入性

中小企业云制造服务平台能支持资源共享、资源使用全过程及其与制造过程相融合的优化利用,如智能生产线的构建、机床再制造、生产过程工艺参数的优化决策、数控程序协同优化编制等服务业务,从而实现云制造服务与中小企业核心技术的深度融合。

(4) 服务交易的可靠性

中小企业云制造服务平台将针对服务交易类型分别建立标准的、可靠的信用评估机制,确保用户需求和资源的信息安全性以及交易可靠性。

(5) 资源使用的便捷性

中小企业云制造服务平台可通过服务引擎与管理工具集,实现制造资源与服务需求的动态快速发布、服务供需能力的动态优化匹配、服务交易的在线协同、交易过程的安全防护,支持社会制造资源从产生到耗散全生命周期业务过程的快速高效运行,为用户提供按需供给、按量计价、便捷高效的制造资源与服务。

(6) 平台运维的市场性

中小企业云制造服务平台可通过建立合理的利益分配与协调机制,实现平台中资源服务的提供方、使用方、平台运营方、服务集成方等多方业务主体的自激励,支持云制造服务平台运维构成要素的动态更新及可持续发展。

2 中小企业云制造服务平台共性关键技术体系

中小企业云制造服务平台的开发、实施和应用

是一项复杂而系统的工程, 涉及到许多亟需攻克
的共性关键技术。结合中小企业云制造服务平台的内
涵, 本文建立了一种中小企业云制造服务平台共性
关键技术体系框架, 如图 1 所示。

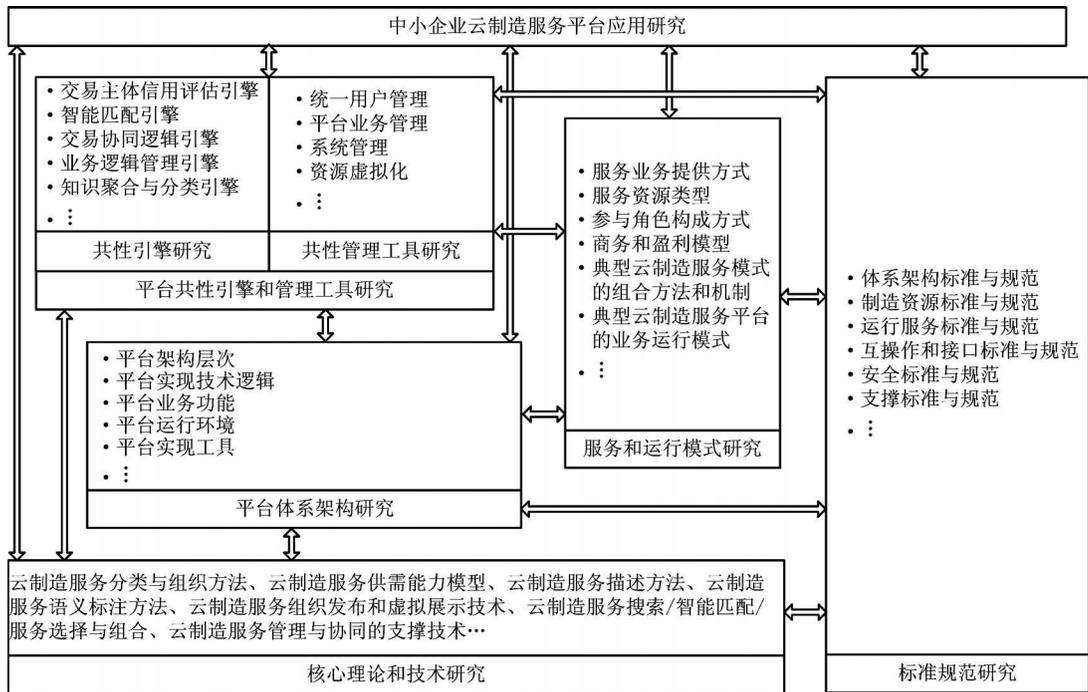


图1 中小企业云制造服务平台共性关键技术体系框架

由图 1 可知, 中小企业云制造服务平台共性关
键技术主要包括平台核心理论和技术、标准与规范、
平台体系结构、共性引擎和工具、服务和运行模式、
平台应用研究等。

2.1 中小企业云制造服务平台核心理论和技术

中小企业云制造服务平台是一个崭新的概念,
要系统和深入地开展中小企业云制造服务平台的研
究、开发、实施和应用, 首先需要围绕中小企业云制

造服务全生命周期突破有关的核心理论和技术, 包
括云制造服务分类与组织方法、云制造服务供需能
力模型、云制造服务描述方法、云制造服务语义标
注方法、云制造服务组织发布和虚拟展示技术、制
造能力供需智能匹配与交易技术、服务业务信用评
估与分析技术、行业知识聚集与管理技术、服务管
理中的非结构化数据管理技术等。平台核心理论和
技术的研究逻辑如图 2 所示。

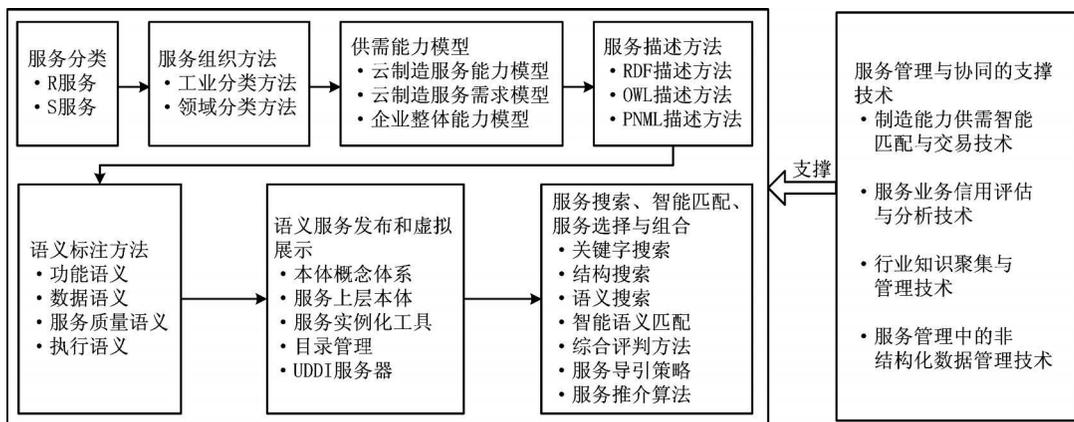


图2 中小企业云制造服务平台的核心理论和技术的研究逻辑

(1) 云制造服务分类与组织方法

云制造服务的概念和分类,是解决云制造服务资源主体问题的源头。结合中小企业资源共享和业务协同的需求,可将云制造服务分为资源(R服务)和服务(S服务)两类。R服务是指单个产品或者设备的简单买卖/租赁契约关系,与服务提供/消费者的企业内部不产生或者产生较少的业务交互;S服务是指企业间协作意义下的复杂协同契约关系,服务供需双方存在业务逻辑依存关系和信息交互需求。其中,R服务可采用标准的工业分类组织方法;S服务可采用Web服务的领域分类方法。

(2) 云制造服务供需能力模型

云制造服务供需能力模型主要包括云制造服务能力模型和云制造服务需求模型。云制造服务供需能力模型描述包括供需双方对R服务和S服务本身的供需描述和供需双方的企业整体能力描述。由于R服务和S服务所涉及的概念、关系和语义有不同内涵,其能力模型的具体构成要素也有所不同。

(3) 云制造服务的描述方法

云制造服务的描述方法包括本体描述方法和 workflow 描述方法。本体描述方法包括资源描述框架(Resource Description Framework, RDF)和Web本体语言(Web Ontology Language, OWL)。对R服务,可采用基于知识框架的表达方法,具体体现为RDF;对S服务,可采用基于Web服务的OWL表达方法;对服务流程的 workflow 描述,可采用可扩展标记语言(eXtensible Markup Language, XML)格式的 Petri 网标记语言。通过以上的服务描述,可规范和指导云制造服务的建模、组织和管理。

(4) 云制造服务语义标注方法

针对中小企业云制造服务,特别是S服务,按照服务的开发、描述、发布、发现、组合与执行等生命周期对语义描述的需求,可将云制造服务语义分为功能语义、数据语义、服务质量语义和执行语义等四种类型。

1) 功能语义(functional semantics),是指服务的实际功能描述,功能语义通过功能本体(functional ontology)来表达,标注在Web服务描述语言(Web Services Description Language, WSDL)文档中的操作上。

2) 数据语义(data semantics),是指服务的输入/输出参数集合的语义表达,数据语义标注在WSDL文档中的操作上。标准的词汇表或分类表,例如 ebXML Core Component Dictionary 或 Roset-

taNet Technical Dictionary 等,均可以用来表达Web服务中的输入/输出数据。

3) 服务质量语义(QoS semantics),是指服务的众多质量性能的语义表达,在WSDL文档中可以进行单独的服务质量语义标注。包括领域无关(domain independent)的QoS和领域相关(domain specific)的QoS。

4) 执行语义(execution semantics),是指与服务执行相关的消息序列、任务流程、服务调用的前提条件/结果等语义信息,在WSDL文档中可以进行单独的服务过程执行语义标注。

(5) 云制造服务组织发布技术和虚拟展示技术

通过建立云制造服务的本体概念体系,可实现企业本体、R服务和S服务的上层本体描述,进而通过实例化工具进行实例化。针对企业本体和R服务,可采用目录管理方式进行发布;针对S服务,可采用Web服务方式,注册到统一描述、发现和集成(Universal Description Discovery and Integration, UDDI)协议服务器中进行发布。对于云制造服务的检索和虚拟展示,可利用富互联网应用(Rich Internet Applications, RIA)技术,通过建立虚拟服务浏览器来实现。

(6) 云制造服务搜索、智能匹配、服务选择与组合

采用云制造服务搜索技术,可集成实现关键字搜索、结构搜索、语义搜索等功能。在智能语义匹配时,可依次进行四种语义匹配,逐步求精,同时需要采用多种语义的匹配度算法,以及单个服务匹配和服务间的语义匹配方法。在服务选择与组合时,可采用相应的服务导引策略和服务推荐算法,以及可参数化配置的加权综合评判方法来实现服务选择;选择服务后,可结合服务流程描述 Petri 网可扩展标记语言(Petri Net Markup Language, PNML)和业务过程执行语言(Business Process Execution Language, BPEL)来实现服务组合。

(7) 云制造服务管理与协同的支撑技术

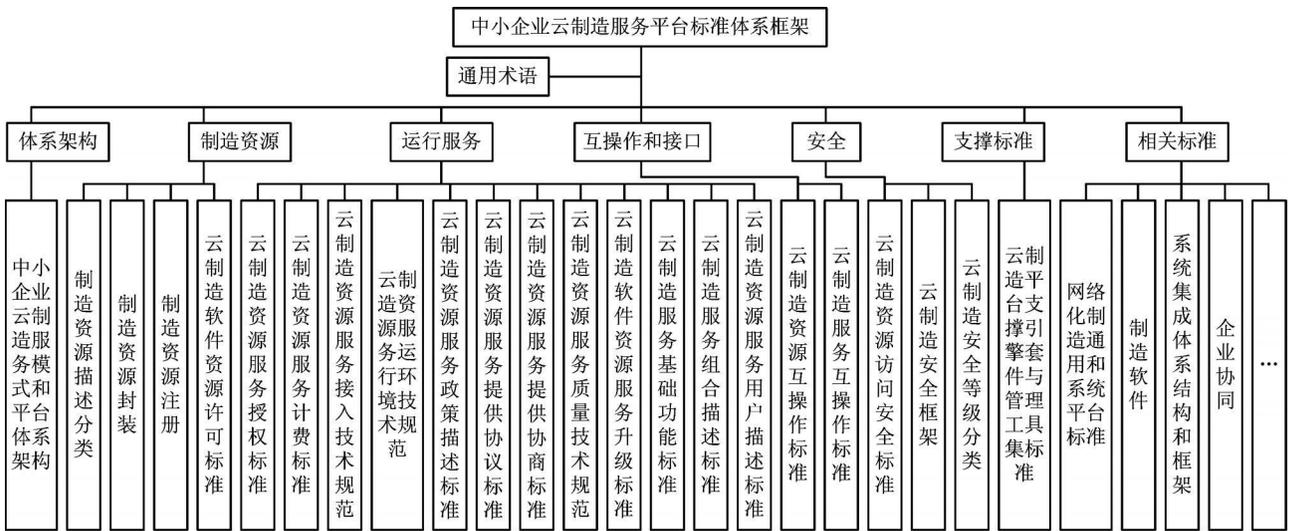
包括制造能力供需智能匹配与交易技术、服务业务信用评估与分析技术、行业知识聚集与管理技术、服务管理中的非结构化数据管理技术等。在突破以上技术的基础上,可开发出构建中小企业云制造服务平台所需的一系列共性引擎和共性管理工具。

2.2 中小企业云制造服务平台的标准与规范

中小企业云制造服务平台的运行将涉及大量的需求和资源信息,同时平台运营需处理多种服务交易,这些信息的无序化和异构化都将阻碍资源的有

效集成和共享, 因此统一的标准和技术规范是中小企业云制造服务平台实现推广应用的关键。本文从整体的角度出发, 建立了如图 3 所示的一种中小企

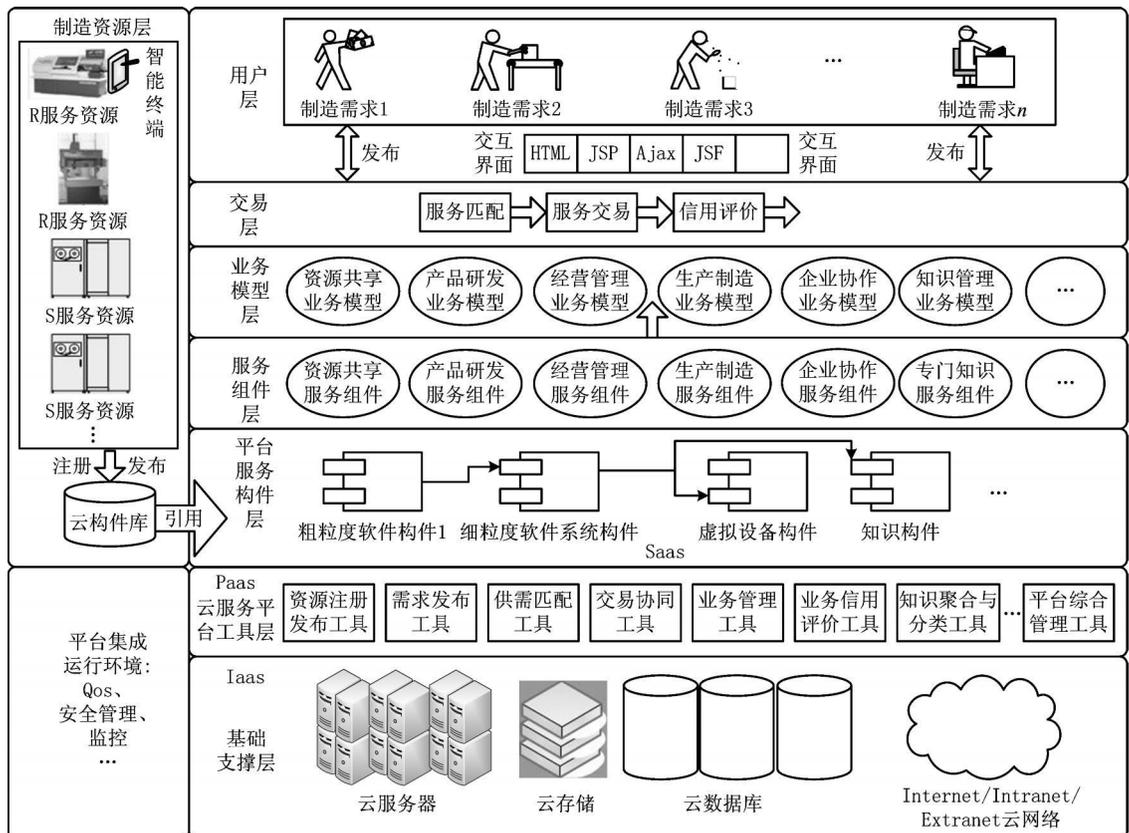
业云制造服务平台标准和规范总体框架结构, 包括中小企业云制造服务平台体系架构、制造资源、运行服务、互操作和接口、安全等相关标准和规范。



2.3 中小企业云制造服务平台体系架构

中小企业云制造服务平台体系架构是从服务实现的角度对平台的层次结构和逻辑关系等进行梳理和规划, 构建中小企业云制造服务平台的架

构蓝图。结合网络化制造服务平台现有研究成果和中小企业云制造服务平台的内涵, 本文建立了一种中小企业云制造服务平台的体系架构, 如图 4 所示。



(1) 基础支撑层 提供云服务平台的数据库、网络等基础支撑环境。

(2) 平台集成运行环境 提供平台运行的安全、监控与管理基础环境。

(3) 平台工具层 提供一系列的工具体, 支持制造资源与需求的方便注册、发布、搜索匹配、交易, 以及业务管理、供需双方信用评价和知识社区创建等。

(4) 制造资源层 包括各种 R 服务资源和 S 服务资源, 各制造资源通过统一注册发布工具, 形成标准接口的云构件, 以供不同需求方的匹配调用; 对于数控加工设备、仪器仪表等硬件服务资源, 可采用一种基于智能终端的新型的云端接入方式, 实现方便接入云端形成云构件, 以供不同需求用户匹配使用; 对于一些服务资源, 可通过系统知识工具集形成知识构件, 以促成行业知识的聚集。

(5) 平台服务构件层 存储并管理各类粗细粒度不等的服务构件, 供不同服务需求调用。

(6) 服务组件层 服务组件层为业务模型层与服务构件层的中间转换层, 通过不同的服务构件组合可以形成粗细粒度不同的业务类型, 供不同的业务模型调用。

(7) 业务模型层 面向客户需求方的业务需求的业务流程定义层, 可调用不同的服务组件响应不同的业务需求。

(8) 交易层 为用户需求提供搜索匹配, 并引导云需求与云资源的交易, 记录管理交易过程, 并作出信用评价。

(9) 用户层 负责各种制造需求的发布, 参与服务业务开展全过程, 发布行业知识经验等。

2.4 中小企业云制造服务平台共性引擎和共性管理工具

中小企业云制造服务平台的构建是一项庞大而复杂的工程, 为提高平台的开发效率和开发质量, 降低平台开发风险和开发成本, 以及提高平台的标准化程度和平台的集成性, 需要在突破以上平台核心理论和技术的基础上, 遵从平台的标准规范和体系结构, 开发一系列中小企业云制造服务平台共性引擎套件和管理工具集。

(1) 中小企业云制造服务平台的共性引擎套件

中小企业云制造服务平台的共性引擎主要为平台开发、应用和推广提供基础逻辑和服务支撑, 包括交易主体信用评估引擎、智能匹配引擎、交易协同逻辑引擎、业务逻辑管理引擎和知识聚合与分类引

擎等。

1) 交易主体信用评估引擎 基于云制造服务平台的主体信用评价指标, 采用面向云制造服务平台的主体信用反馈机制和主体信用评价算法, 实现主体交易信用信息管理、主体信用评价、主体信用综合查询分析。

2) 智能匹配引擎 采用制造服务搜索算法, 通过关键字、结构、语义等方式实现制造服务的快速搜索, 然后针对制造服务的功能、数据、服务质量和执行等方面, 采用智能语义匹配算法实现制造服务所需的智能匹配。

3) 交易协同逻辑引擎 通过云制造能力交易描述语言和管理方法, 对整个交易过程进行静态描述, 实现交易实例的创建、运行、监控、异常处理及评价记录。

4) 业务逻辑管理引擎 通过对中小企业云制造能力交易过程的多层次、多维度综合建模, 结合过程挖掘算法、相似性度量算法以及过程模型检索算法, 采用相应的仿真分析技术, 对交易过程的结构合理性、行为合规性、活动可调度性和过程成功率等方面进行分析, 实现交易过程的在线演化和管理。

5) 知识聚合与分类引擎 基于数据挖掘和分析、行业知识聚合与分类算法, 采用网络爬虫、NLP (nonlinear programing) 等算法实现技术, 建立制造行业知识库、语义分析、语义搜索和查询。

(2) 中小企业云制造服务平台 共性管理工具集

中小企业云制造服务平台的共性管理工具集主要为平台用户提供友好人机交互应用工具, 实现平台的易操作性和功能的便捷性, 包括统一用户管理、业务管理系统工具、系统管理工具和资源虚拟化工具等。

1) 统一用户管理 支持交叉分类、行业分类选择, 支持单点登录, 满足安全性、统一性和可扩充性的需求。

2) 业务管理系统工具 为多主体协同的可定制业务外包交易提供全生命周期管理功能, 包括外包业务模板的定义、管理、智能推荐、分析、仿真和改进等, 支持外包业务实例的部署、执行、监控、诊断、演化和优化等。

3) 系统管理工具 为搭建支持多租户、大容量、高并发、高可用的服务平台提供各项管理功能。

4) 资源虚拟化工具 实现主流计算资源、存储资源、网络资源、制造资源等物理软硬件资源的虚拟化集中管理和监控。

2.5 中小企业云制造服务平台的服务和运行模式

如何针对中小企业云制造服务业务特点和制造服务资源特性等研究和建立可行的运行服务模式, 是中小企业云制造服务平台进入实际应用阶段、实现制造资源的集成和共享需要突破的一个重要问题。根据中小企业的特点和需求, 结合中小企业云

制造服务业务提供方式、云制造服务资源类型、云制造参与角色构成方式、云制造服务商务和盈利模型, 围绕“分散资源集中使用, 集中资源分散服务”的云制造思想, 本文建立了一套如图 5 所示的“222+2”的中小企业云制造服务和运行模式总体框架和组合思路, [] 表示可任取其中元素组合; i, j 取 1 或 2。

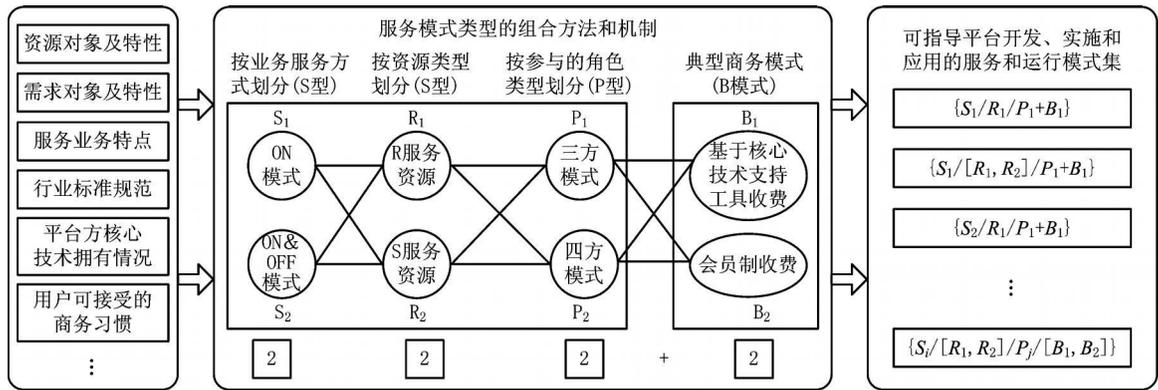


图5 中小企业云制造服务和运行模式总体框架和组合思路

图 5 中, “222” 包括: ①纯在线云制造服务(ON 模式)、在线和离线相结合云制造服务(ON&OFF 模式) 两种典型的云制造服务业务提供方式; ②R 服务资源和 S 服务资源两种典型的云制造服务资源类型; ③三方(指资源提供方、资源需求方、平台运营方三方)云制造服务和四方(指资源提供方、资源需求方、资源集成服务方、平台运营方四方)云制造服务两种典型的云制造参与角色构成方式。“+2”是指以上典型云制造服务模式可采取基于核心技术支持工具收费模式和会员制收费模式两种典型商务和盈利模式。

以上组合思路需根据具体云制造服务业务特点、平台方核心技术拥有情况、制造资源特性等具体情况进一步个性化组合和配置, 以指导相应的中小企业云制造服务平台的开发、实施和商业化运营。

2.6 中小企业云制造服务平台应用体系架构

中小企业云制造服务平台的开发和运营商, 在确定其服务领域后, 可结合具体云制造服务的类型和特点, 利用以上核心理论、标准规范、体系架构、共性引擎、共性管理工具、服务和运行模式等共性关键技术成果, 开发和实施各具特色的面向行业和面向区域的中小企业云制造服务平台。

中小企业云制造服务平台的功能一般可包括统一用户管理、制造资源注册发布、制造需求发布、制造服务注册中心、制造服务撮合系统、制造服务交易

管理、制造服务业务管理、业务信用评估与分析、行业性知识聚集与服务网络化社区、服务平台系统管理等功能。中小企业云制造服务平台应用的一种参考体系架构如图 6 所示。

从图 6 可看出, 在平台的支撑下, 可实现中小企业制造资源的共享与整合, 如企业有富余生产能力的设计服务、生产加工服务、实验仿真服务、经营管理服务等资源可通过平台进行虚拟化云端接入, 基于网络提供云制造服务; 同时广大有服务需求的中小企业通过平台需求发布、供需匹配寻找到所需服务资源。

3 结束语

中小企业云制造服务平台将成为我国中小企业充分利用和共享制造资源, 提升企业综合竞争力的重要支撑手段, 也是当前我国先进制造领域需要探索的一个重要发展方向。由于中小企业云制造服务平台还是一个崭新的概念, 其相关技术在国内刚刚起步, 在国际上也属研究前沿。为促进中小企业云制造服务平台的研究、开发、实施和应用, 本文建立了中小企业云制造服务平台共性关键技术研究的体系框架, 阐述了中小企业云制造服务 7 大主要核心理论和技术的研究思路, 建立了一种中小企业云制造服务平台标准和规范的总体框架结构, 并建立了一种具有 9 层结构的中小企业云制造服务平台体系

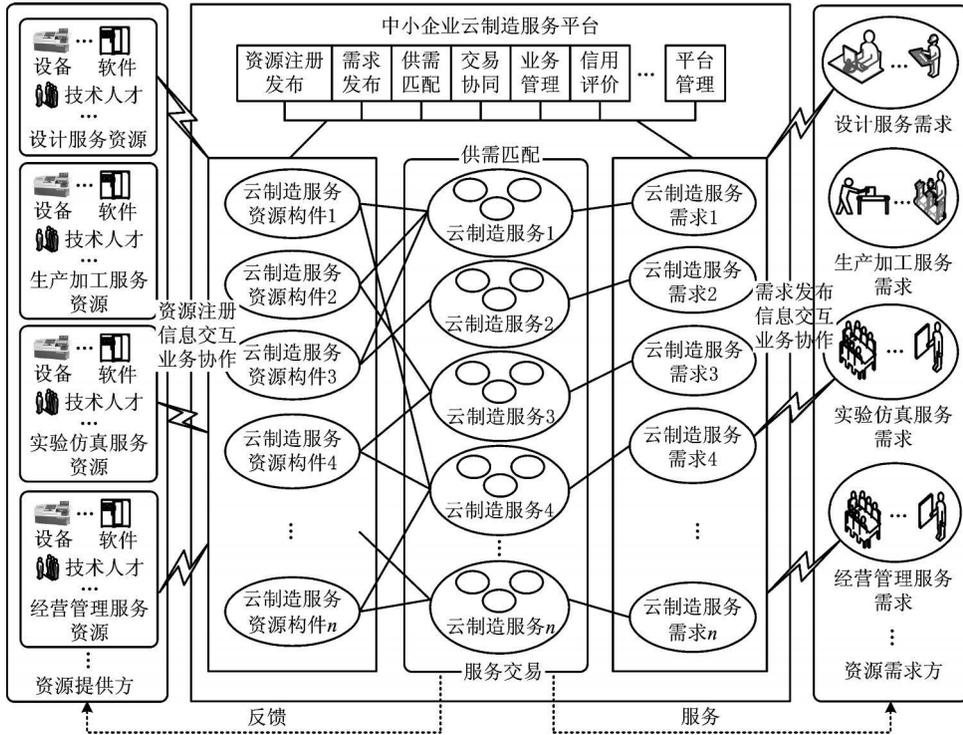


图6 一种中小企业云制造服务平台应用体系架构

架构,提出了中小企业云制造服务平台5类共性引擎和4类共性管理工具的研究内容,建立了一套“222+2”的中小企业云制造服务模式总体框架和组合思路,并建立了中小企业云制造服务平台应用的一种参考体系架构。

参考文献:

- [1] XU Yun, XIAO Tianyuan, LIANG Ce, et al. Federated integration of networked manufacturing service platforms[J]. *Co-laborative Design and Manufacturing*, 2008, 22(3): 317-327.
- [2] GU Yuqi, WANG Zhengxiao, PAN Xiaohong. Research on the ASP platform for networked manufacturing in textile region [C]//*Proceedings of the 2nd International Technology and Innovation Conference*. London, UK: IET, 2009: 1118-1122.
- [3] LIU Fei, LEI Qi, SONG Yuchuan. Connotation, state of the art and research tendency of networked manufacturing[J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2003, 39(8): 1-6 (in Chinese). [刘飞,雷琦,宋豫川.网络化制造的内涵及研究发展趋势[J]. *机械工程学报*, 2003, 39(8): 1-6.]
- [4] SUN Xiao, ZHANG Xiuzhi, WANG Xiuying. Networked sharing platform of enterprise group oriented manufacturing resources[J]. *Journal of Jilin University*, 2009, 39(1): 222-226 (in Chinese). [孙晓,张秀芝,王秀英.面向企业集团的制造资源网络化共享平台[J]. *吉林大学学报*, 2009, 39(1): 222-226.]
- [5] YIN Sheng, YIN Chao, LIU Fei, et al. Integrated service mechanism of networked collaborative product development re-
- [6] SMITH A D, RUPP W T. Application service providers(ASP): moving downstream to enhance competitive advantage[J]. *Information Management and Computer Security*, 2002, 10(2): 64-72.
- [7] WALSH K R. Analyzing the application ASP concept: technologies, economics, and strategies[J]. *Communications of the ACM*, 2003, 46(8): 103-107.
- [8] KERN T, KREIJGER J, WILCOCKS L. Exploring ASP as sourcing strategy: theoretical perspectives, propositions for practice[J]. *Journal of Strategic Information Systems*, 2002, 2(11): 153-177.
- [9] ZHANG Li, YIN Guofu, WANG Wei, et al. Research on ASP-oriented collaborative analysis service technology in network environment[J]. *Journal of North University of China*, 2008, 29(2): 136-141 (in Chinese). [张莉,殷国富,王伟,等.网络环境下面向ASP的协同分析服务技术研究[J]. *中北大学学报*, 2008, 29(2): 136-141.]
- [10] BUYYA R, CHEE S Y, VENUGOPAL S. Market-oriented cloud computing vision, hype, and reality for delivering IT services as computing utilities[C]//*Proceedings of the 10th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications*. Washington, D. C., USA: IEEE, 2008: 5-13.
- [11] DILLON T, CHEN W, CHANG E. Cloud computing: issues

- and challenges[C]//Proceedings of the 24th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications. Washington, D. C., USA: IEEE, 2010: 27-32.
- [12] ATZORI L, TERA A, MORABITO G. The Internet of things: a survey [J]. Computer Networks, 2010, 54(15): 2787-2805.
- [13] INGE G. Architecture for the Internet of things(IoT): API and interconnect[C]//Proceedings of the 2nd International Conference on Sensor Technologies and Application. Washington, D. C., USA: IEEE, 2008: 802-807.
- [14] LI Bohu, ZHANG Lin, WANG Shilong, et al. Cloud manufacturing: a new service-oriented networked manufacturing model [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2010, 16(1): 1-7, 16(in Chinese). [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[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(1): 1-7, 16.]

作者简介:

尹超(1974-),男,四川资中人,教授,博士,研究方向:制造系统工程及网络化制造, E-mail: ych925@cqu.edu.cn;

黄必清(1966-),男,湖北武汉人,副教授,博士,研究方向:应用网络技术、CIMS环境下的决策支持系统;

刘飞(1948-),男,四川内江人,教授,博士生导师,研究方向:制造系统工程、网络化制造及绿色制造;

闻立杰(1977-),男,河北唐山人,讲师,博士,研究方向:业务过程管理、 workflow 技术;

王朝坤(1976-),男,江苏东台人,副教授,博士,研究方向:数据管理与云计算;

黎晓东(1970-),女,辽宁沈阳人,研究员,硕士,研究方向:工业自动化与标准化;

杨书评(1969-),女,甘肃兰州人,高级工程师,硕士,研究方向:工业自动化与标准化;

叶丹(1971-),女,湖北武汉人,高级工程师,博士,研究方向:应用集成技术、网络分布式计算、软件工程

柳先辉(1979-),男,浙江丽水人,讲师,博士,研究方向:网络化制造和软件工程。