

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2017.06.010

# 云制造中加工设备资源语义模型研究

汪卫星<sup>1,2</sup>

(1.北海职业学院 电子工程系,广西 北海 536000; 2.重庆大学 机械传动国家重点实验室,重庆 400044)

**摘要:**为了解决云制造环境下加工设备资源的虚拟化封装问题,建立了一种开放的、柔性的加工设备资源模型。在深入解析制造资源内涵、分类、特性的基础上,分析了加工设备资源的特点,结合语义知识和 WEB 技术,建立了加工设备资源模型。给出了加工设备资源语义描述方法,建立了描述模板。最后详述了云制造资源匹配流程,为云制造平台资源管理提供了重要基础和条件。

**关键词:**云制造;制造资源;资源匹配

**中图分类号:**TP391.4

**文献标志码:**A

**文章编号:**1000-582X(2017)06-077-09

## Research on the semantic model of processing resources in cloud manufacturing

WANG Weixing<sup>1,2</sup>

(1. Electronic Information Engineering Department Beihai Vocational College, Beihai, 536000, Guangxi, P.R.China; 2. College of Mechanical Engineering Chongqing University, Chongqing 400044, P.R.China)

**Abstract:** To solve the problem of virtualized encapsulation of processing equipment resources in cloud manufacturing, an open and flexible processing equipment resource model was established. On the basis of analyzing the connotation, classification and characteristics of manufacturing resources, the characteristics of processing equipment resources were analyzed first. Then combined with semantic knowledge and WEB technology, the resource model of processing equipment was established. The semantic description method of processing equipment resources was given, and the semantic description template was established. Finally, the cloud manufacturing resource matching process was described in detail. The research would provide an important basis and condition for resource management of cloud manufacturing platform.

**Keywords:** cloud manufacturing; manufacturing resource; resource matching

现代科技快速发展,使云计算、物联网、大数据、VR/AR 技术、信息物理系统等技术极大地融入制造业,促使制造业向创新、智能、数字化特征的智慧制造转型升级。云制造技术是上述技术与现代制造技术相结合的产物,拓展了网络化制造和网格制造研究范围和应用层面,属于智慧制造范畴。李伯虎院士等<sup>[1]</sup>最早提出的云制造 1.0 概念,目的就是为制造全生命周期过程提供可随时获取的、按需使用、安全可靠的、优质廉价的

**收稿日期:**2017-01-10

**基金项目:**国家科技支撑计划重大项目(2011BAF111310-02);广西高校中青年骨干教师基础能力提升项目(KY2016YB755)。Supported by the National Science and Technology Support Plan Key Projects(2011BAF111310-02), and the Basic Ability Promotion Project of Middle-aged and Young Teachers in Colleges and Universities in Guangxi (KY2016YB755).

**作者简介:**汪卫星(1974-),男,北海职业学院副教授,重庆大学博士研究生,主要从事云制造、云计算和网络安全等研究,(E-mail)wwx\_ylq@126.com。

各类制造活动服务。云制造强调制造资源与制造能力的服务化和按需使用<sup>[2]</sup>,制造资源虚拟化封装、描述、发现和优选是实现云制造应用的关键技术,是服务于制造全生命周期的基础和前提,也是当前云制造技术的研究热点。制造资源虚拟化技术是通过现代信息技术和行业标准,将分散的物理制造资源虚拟化封装,转化为适合在互联网环境应用的逻辑制造资源,实现物理制造资源与云制造环境中应用单元之间的松耦合。制造资源是产品制造全生命周期中所需要的各种物理要素的集合<sup>[3]</sup>,虚拟化封装后形成逻辑资源,逻辑资源以服务的形式供云制造平台进行服务匹配、优选和组合。制造资源是云制造系统的处理对象,在云制造平台中起着基础性作用,是云制造资源池中制造服务的物理载体<sup>[4]</sup>,是制造服务的匹配、优选、组合的基础和前提。因此,资源建模及该模型基础上的制造任务分解、发现与组合等成为当前研究的热点。

笔者在深入分析制造资源内涵和特点的基础上,结合相关研究成果,提出了基于语义的加工设备资源模型,并进行了形式化描述。

## 1 云制造环境下的制造资源

### 1.1 云制造资源内涵

一般制造资源划分为广义制造资源和狭义制造资源<sup>[5]</sup>,两者涉及的制造活动范围和对象应用深度是不相同的。其中广义制造资源涉及产品全生命周期过程,指规划、设计、仿真、制造、检测、维护等活动中涉及到的所有软硬件元素,而狭义制造资源产要涉及的是产品的制造环节,是加工单个零件时使用到的物质元素,是面向制造系统底层的制造资源<sup>[6]</sup>,如加工设备、工艺设备等。在云制造环境中的制造资源范围更广,拓展了传统的广义制造资源,增加了如知识、规则、商业要素等元素。云制造资源是云制造平台处理对象,涉及到产品制造全生命周期中不同过程中的各种要素,是一切能在制造全生命周期中发挥作用的软硬件资源。云制造涉及的资源分布域广、结构差异大、共享层次多,从而可将云制造资源划分为5个层次,即协作联盟层、企业层、车间层、单元层、和单体层<sup>[6]</sup>,各层之间还允许交错引用,形成不同的资源集合。不同资源集合对外表现为不同粗细粒度的资源服务,具有一定的属性和功能。这里讨论的是单体层的云制造资源,如加工设备资源。

### 1.2 云制造资源分类

不同学者对云制造资源的分类不尽相同,没有统一标准。一般将制造资源划分为硬制造资源、软制造资源、计算资源和制造能力等4类<sup>[7]</sup>,但这种划分方法不能细致表达制造业中不同细分资源的差别,不利于基于本体知识的资源规范化描述和实现。从资源属性和其在制造过程中的作用出发,可将制造资源划分为人力资源、设备资源、软件资源、物料资源、服务资源、计算资源、知识资源和拓展资源等。每类资料又有具体实例,实例之间有共性,也有差异。人力资源是指整个制造全生命周期过程中的涉众,如技术人员、管理人员等。设备资源是指制造全生命周期过程中使用到的各类硬件设备资源<sup>[8]</sup>。设备资源是云制造平台处理的重要对象,数量巨大、结构差异大、分布广,可进一步细分为加工生产设备(机床、加工中心等)和工艺设备(刀具、夹具、量具等)。软件资源是指企业生产、管理、设计、通讯过程中使用到的各类软件。服务资源是指企业为外界提供的各类指导与服务能力。物料资源指与产品生产加工相关的所有原料、能源、半成品等。计算资源是指产品生命周期过程中的计算类资源<sup>[9]</sup>。知识资源是企业服务产品制造过程中的专业知识、成功案例及经验等。拓展资源是一些企业提供的特有的资源呈现的接口,以便增加系统的柔性。图1为细分后的制造资源分类图。

### 1.3 云制造中加工设备资源属性

云制造中加工设备特性有相对独立和自治、分布异构性、异步协作性、能力表现的多样性、动态性和不确定性<sup>[10]</sup>。加工设备结合其它资源(如人力资源、设计资源)会形成新的制造能力,这是资源为完成某项任务而动态地组合的,即资源组合随任务的需要而建立。设备资源具有若干属性,主要包括基本信息、结构信息、能力信息、状态信息等。对应描述见表1。在设备资源服务的匹配、优选和组合时要综合考虑这6个方面的属性要素。

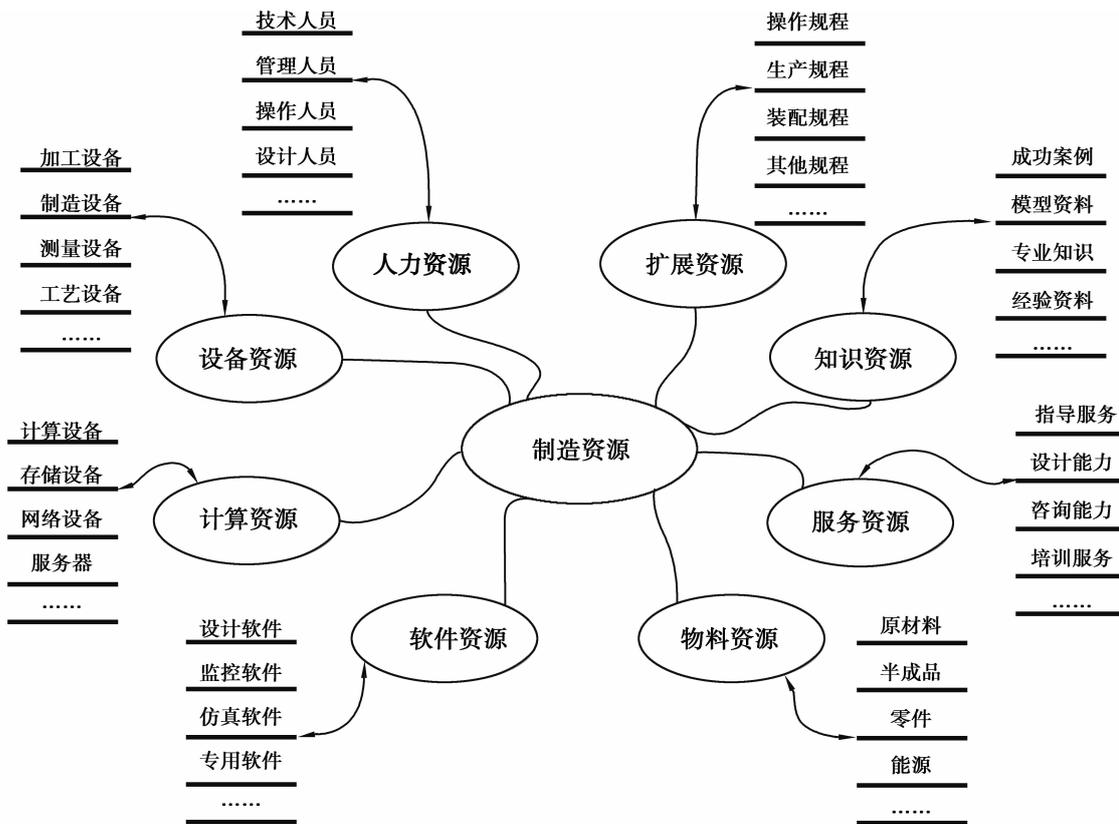


图 1 制造资源分类图

Fig.1 Manufacturing resource classification

表 1 制造资源属性

Table 1 Manufacturing resource properties

属性名称	属性描述
基本属性	描述资源的基本信息,如针对设备资源的基本属性有名称、编号、型号规格、类别、数量、所属部门、生产厂家、位置等。
结构属性	描述资源的结构信息,如针对设备资源的尺寸大小、质量、主轴转速、表面精度、工作半径、刀杆长度等。
能力属性	描述资源的能力信息,如针对设备资源的加工能力、生产能力、加工精度、可加工材料、可加工硬度等。能力属性往往是若干能力的集合,即能力集,体现了单体资源具有多种能力,即 1 对 n 的映射关系。能力属性是资源服务匹配和优选时重要的参考依据。
状态属性	描述资源的状态信息,如当前设备资源的使用状态(空闲、占用、维修)、完备率、负荷率、折旧率、故障率、磨损率等。
质量属性	描述资源在质量、时间、成本等 QoS 要求下的工作质量、服务质量。评价属性是从第三方角度给出的该资源在以往工作过程中的评价分数或评价等级。资源的所有者不能修改资源的评价值,其管理是由云制造平台负责的。
商业属性	描述资源的购买价格、租赁价格、折旧率、管理成本、可用时段等。商业属性是用户在优选出可行方案时决策是否采用的重要依据。

## 2 云制造环境下的加工设备资源模型定义及描述

### 2.1 相关研究

国内外学者对制造资源模型进行了一些,更多的是基于网络化制造环境下的制造资源建模研究,如文献[11]提出基于资源功能的网络化制造资源模型,采用 Web 服务进行封装。文献[12]提出了基于能力的制造资源模型,并用 xml 语言进行描述。文献[13]提出了一种双层模型,采用模糊聚类方法研究。这些制造资源模型不能很好地应用到云制造环境中,即不符合云制造的“集中资源分散使用,分散资源集中使用”思想,又不能解决如何将物理资源与资源服务的 1 对  $n$  映射关系。云制造环境下的物理资源通过虚拟化封装后,在资源池中以逻辑资源形式呈现,通过组合优选后能对不用户需求提供的多标准化的资源服务,这体现了云制造的柔性特征。利用本体技术和 Web Services 技术对某类逻辑资源进行封装得到服务化的信息单元<sup>[14]</sup>,纳入云资源池中统一管理,该类信息单元具有共享性、动态性和信息化特征,在云制造资源匹配和组合应用中可进行一对一、一对多和多对一等方式进行优化,或者采用多粒度、多尺度方式进行优化控制<sup>[13]</sup>。

### 2.2 模型定义

在机械企业里最常用到的资源是加工设备资源,其种类繁多、单体数量巨大、物理结构差异大、地理分布广,需要采用开放式方法、抽取共性属性或方法对其进行表达与描述,以形成规范化、标准化的逻辑资源,纳入资源池中后便于统一管理。云制造资源虚拟化的目的是通过虚拟化技术将物理资源映射为逻辑资源,将制造能力封装成适合信息化处理的服务单元。对分布在不同区域的异构云制造资源按统一、规范的标准进行描述、封装、部署、管理和通信等,形成具有规范化接口的虚拟资源组件<sup>[15]</sup>。信息系统中常用的 Web 服务描述的语言是 OWL-S 和 WSDL-S 等,其中服务描述大多采用 OWL-S 语言实现,OWL-S 可以解决标准化问题,它描述的是语义 Web 服务上层本体<sup>[16]</sup>。利用 WSDL 语言建立云制造资源服务规范化描述,最终生成了 WSDL 文档。可以用一个六元组来定义制造资源服务形式化<sup>[17]</sup>。常用的有 Web 服务描述语言(Web Service Description language, WSDL)、XML Schema 和资源描述框架(Resource Description Framework, RDF)等,在描述资源时可以依据主要属性设计通用的制造资源描述体系<sup>[18]</sup>。

**定义 1** 加工设备资源。PER (Processing Equipment Resources):  $:= \{ \text{BasicInfo}, \text{StrucInfo}, \text{CapabInfo}, \text{StatusInfo}, \text{QualiInfo}, \text{CommeInfo} \}$ 。其中 PER 表示制造服务, BasicInfo 表示基本属性, StrucInfo 表示结构属性, CapabInfo 表示能力属性, StatusInfo 表示状态属性, QualiInfo 表示质量属性, CommeInfo 表示商业价值属性。

**定义 2** 加工设备资源的基本属性。

BasicInfo =  $\{ \text{name}, \text{type}, \text{info}, \text{provider}, \text{location}, \text{parameter}, \text{other} \}$ , 其中 name 为资源名称; type =  $\{ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 \}$  为资源类型, 其中数据分别代表上述 8 种资源类型; info 为资源描述内容; provider 为资源所有者; location 为资源所在位置信息; parameter 为资源的参数信息, 是可扩展的集合, 如设备资源的型号、尺寸、材质、运行规程等; other 为可扩展的属性, 根据实际情况进行增减, 适应系统柔性需求。

**定义 3** 加工设备资源的结构属性。

StrucInfo =  $\{ \text{dimension}, \text{weight}, \text{spindle\_speed}, \text{surface\_precision}, \text{working\_radius}, \text{tool\_length} \}$ , 其中 dimension 为资源尺寸大小, weigh 为资源质量, spindle\_speed 为资源的主轴转速, surface\_precision 为表面精度, working\_radius 为工作半径, tool\_length 为刀杆长度等。

**定义 4** 加工设备资源的能力属性。

CapabInfo =  $\{ \text{type}, \text{process}, \text{parameter}, \text{operation}, \text{range}, \text{precision} \}$ , 其中 type 为加工类型, process 为加工过程, parameter 为加工参数, operation 为加工操作, range 为中加工范围, precision 为加工精度等。

**定义 5** 加工设备资源的状态属性。

StatusInfo =  $\{ \text{usingState}, \text{taskQueue}, \text{complRate}, \text{load}, \text{maintenance}, \text{instantState}, \text{depreciation}, \text{abrasion} \}$ 。usingState 为使用状态(空闲、占用、维修), taskQueue 为任务队列, complRate 为完备率, load 为

负荷率, maintenance 为维护信息, instantState 为即时状态, depreciation 为折旧率, abrasion 为磨损率等。

**定义 6** 加工设备资源的质量属性。QualiInfo = { prodEfficiency, averFailRate, passPercent, totalTime, qualEvaluation, serviceTimes }, prodEfficiency 为生产效率, averFailRate 为平均故障率, passPercent 为产品合格率, totalTime 为运行总时, qualEvaluation 为质量评价, serviceTimes 为服务次数等。

**定义 7** 加工设备资源的商业属性。

CommeInfo = { purchPrice, depreciation, lessePrice, logisticCost, productCost, managementCost }。purchPrice 为购买价格, depreciation 为折旧成本, lessePrice 为租赁价格, ogisticCost 为物流成本, productCost 为生产成本, managementCost 为管理成本。

### 2.3 资源模型描述

加工设备资源种类繁多、结构差异化大,是一种非结构化数据结构<sup>[19]</sup>,在对其虚拟化封闭时要考虑到开放性和系统柔性。下面以牛头刨床为例,采用 XML 语言对其进行描述。

```
<? xml version="1.0" encoding="GB2312"? >
  <PER>
    < BasicInfo >
      <name>牛头刨床</name>
      <type>BC60100</type>
      <provider>武汉市***</provider>
      <location>广西南宁***</location>
      .....
    </BasicInfo>
    <StrucInfo>
      <dimesion unit="mm">3640×1575×1780</dimesion>
      <weight unit="kg">5500</weight>
      <spinde_speed>
        <horizontal_feed unit="mm">3/min</>
        <vertical_feed unit="mm">0.5/min</>
      </spinde_speed>
      .....
    </StrucInfo>
    <CapabInfo>
      <type>刨削</type>
      <process>刨削各种平面和成型面,斜面和沟槽</process>
      <parameter>
        <max_length unit="mm"></max_length>
        <max_hight unit="mm"></max_hight>
        <max_cutting_length unit="mm">1000mm</maxi_cutting_length>
        <max_lateral_move_distance unit="mm">800mm</maxi_lateral_move_distance>
      </parameter>
      .....
    </CapabInfo>
    <StatusInfo>
      <usingState>占用</usingState>
```

```

    <taskQueue>3</taskQueue>
    .....
</StatusInfo>
<QualiInfo>
    <prodEfficiency>高</prodEfficiency>
    <averFailRate>0.1%</verFailRate>
    .....
</QualiInfo>
<CommeInfo>
    <purchPrice unit=" $">50 万元</purchPrice>
    <depreciation>4%</depreciation/>
    .....
</CommeInfo>
</PER>

```

在资源的语义表述方面有多种方式,如资源描述框架(Resource Description Framework, RDF)、基于XML 格式的 Petri、OWL-S 语言等。通过解析制造资源和制造能力,并进行规范化描述,以便云制造系统的管理模块进行建模、查找、匹配、组合和优化等管理<sup>[20]</sup>。图 2 是加工设备资源的语义描述模板。

```

<owl:Class rdf:ID="Processing Equipment Resources Description">
  <owl:equivalenceClass>
    <owl:Class>
      <owl:section rdf:parseType="Collection">
        <rdfs:label>加工设备资源语义描述</rdfs:label>
        <rdfs:subClass rdf:resource="#ServiceProfile"/>
        <rdfs:subClass>
          .....
          <owl:Restriction>
            <owl:onProperty rdf:resource="BasicInfo"/>
            <owl:allValuesFrom rdf:resource="..."/>
          </owl:Restriction>
          <owl:Restriction>
            <owl:onProperty rdf:resource="StrucInfo"/>
            <owl:allValuesFrom rdf:resource="..."/>
          </owl:Restriction>
          <owl:Restriction>
            <owl:onProperty rdf:resource="CapabInfo"/>
            <owl:allValuesFrom rdf:resource="..."/>
          </owl:Restriction>
          <owl:Restriction>
            <owl:onProperty rdf:resource="StatusInfo"/>
            <owl:allValuesFrom rdf:resource="..."/>
          </owl:Restriction>
          <owl:Restriction>
            <owl:onProperty rdf:resource="CommeInfo"/>
            <owl:allValuesFrom rdf:resource="..."/>
          </owl:Restriction>
          .....|
        </rdfs:subClass>
      </owl:section>
    </owl:Class>
  </owl:equivalenceClass>
</owl:Class>

```

图 2 资源语义描述模板

Fig.2 Resource semantic description template

### 3 云制造资源匹配流程

图 3 是云制造资源匹配流程,包含资源提供者发布资源和资源需求者查询资源两个过程,省略了云平台的中间管理过程。

**步骤 1** 资源提供者登录云制造平台,将可提供的制造资源通过 Agent 向系统提供,利用 XML、RDF 规范性、通用性 WEB 技术,套用 OWL-S 语义模板,将资源纳入已有的本体库中。这种方式会不断扩大和完善本体库,最终用户提供的资源在 UDDI 目录中进行登记。

**步骤 2** 资源需求者登录云制造平台,通过 Agent 向系统提出服务需求。云制造资源使用解析器,结合 WSDL 知识将资源服务需求进行分解,抽出其中的资源概念、属性、约束要求等元素。对于概念属性等采用语义相似度算法进行计算,对于约束要求进行规则推理,将两类计算结果进行综合,按匹配算法要求进行综合计算,从而得到需求匹配的结果集。然后通过设定的过滤器进行筛选形成优化的结果集,并返回给资源需求者。常见的匹配过程包括参数匹配阶段、属性匹配阶段、综合匹配阶段。

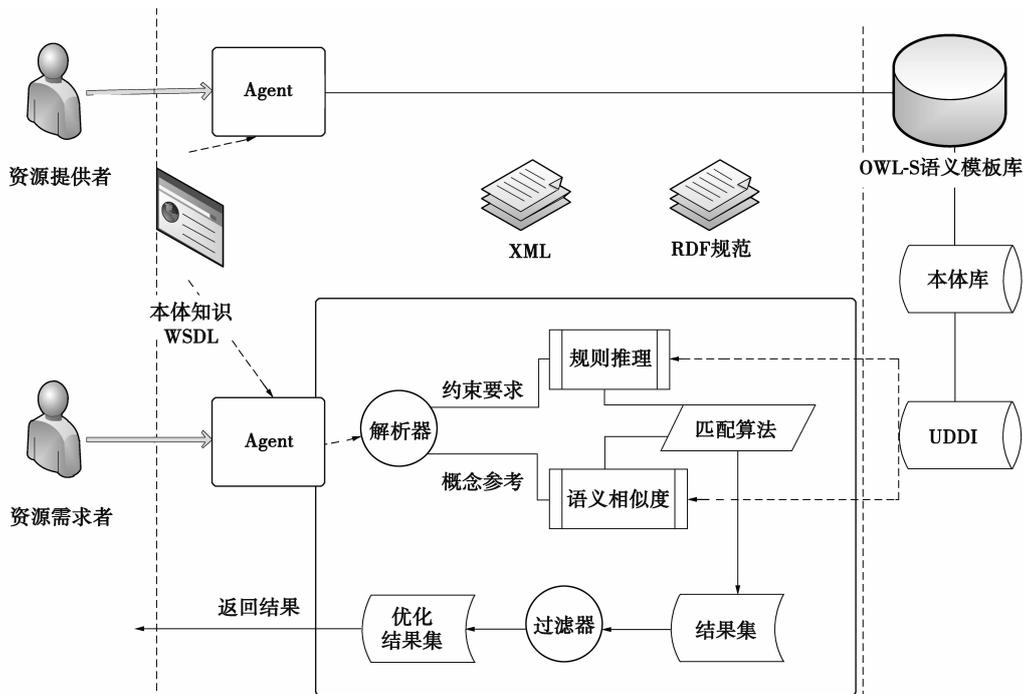


图 3 云制造服务资源匹配流程

Fig.3 Cloud manufacturing service resource matching process

### 4 模型应用

在前期对云制造平台关键技术研究的基础上,针对农用机动车和机械设备厂的深入调研,与企业合作研发了面向中小企业云制造运行平台(ToolPlatform1.0),提供一套初具规模的应用框架,实现了合作商之间的在线协同工作,具备云制造平台的简易功能。在平台中针对加工类设备进行了虚拟化封装、资源生成与管理,实现了动态应用和商业协助功能,有效提高了区域内资源共享与利用,对企业管理和协作效率得到大幅度提升,同时降低了供应链管理的成本。

## 5 结 论

制造资源的建模及语义描述是实现云端物理资源虚拟化的重要过程,也是云制造平台对云资源服务的匹配、优选和组合的基础和前提,是云制造平台实现的重要基础内容。云制造平台构建之初就应当从系统工程角度进行思考,对所服务的各类制造资源进行深入分析,提炼制造资源的特点,形成平台资源的分类,确定采用虚拟化技术和语义知识应用,完善资源模型建立、模板确立和实现技术。云制造资源虚拟化封装与实现时要以科学实现后继云制造平台的资源管理、发现、匹配、优先与组合为目标。在下一步工作中,将研究基于约束条件的服务资源的匹配、优选和组合技术。

### 参考文献:

- [1] 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.  
LI Bohu, ZHANG Lin, WANG Shilong, et al. Cloud manufacturing: an service-oriented networked manufacturing model[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems,2010, 16(1):1-7. (in Chinese)
- [2] 姚锡凡,练肇通,杨屹,等.智慧制造——面向未来互联网的人机物协同制造新模式[J].计算机集成制造系统,2014,20(6):1490-1498.  
YAO Xifan, LIAN Zhaoton, YANG Yi, et al. Wisdom manufacturing: new hummns-computers-things collaborative manufacturing model[J].Computer Integrated Manufacturing Systems,2014,20(6):1490-1498. (in Chinese)
- [3] 孟祥旭,刘士军,武蕾,等.云制造模式与支撑技术[J].山东大学学报(工学版),2011,41(5):13-20.  
MONG Xiangxu,LIU Shijun,WU Lei,et al. Model and key technologies of cloud manufacturing[J]. Journal of Shandong University(Engineering Science),2011,41(5):13-20. (in Chinese)
- [4] 吴娇,李少波.云制造中硬件资源虚拟化封装研究[J].机械设计与制造,2014(7):112-115.  
WU Jiao, LI Shaobo.The hardware resource virtual encapsulationn in cloud manufacturing[J]. Machinery design & Manufacture,2014(7):112-115. (in Chinese)
- [5] 姚锡凡,金鸿,徐川,等.云制造资源的虚拟化与服务化[J].华南理工大学学报(自然科学版),2013,41(3):1-7.  
Yao Xifan, Jin Hong, Xu Chuan, et al. Virtualization and servitization of cloud manufacturing resources[J]. Journal of South China University of Technology(Natural Science Edition),2013,41(3):1-7. (in Chinese)
- [6] 朱李楠,赵燕伟,王万良.基于RVCS的云制造资源封装、发布与发现模型[J].计算机集成制造系统,2012,18(8):1829-1838.  
ZHU Linan, ZHAO Yanwei, WANG Wanliang. Model of resource package, publication and discovery based on RVCS in cloud manufacturing[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2012,18(8):1829-1838. (in Chinese)
- [7] 周竞涛,杨海成.基于同态映射的制造资源虚拟化机制[J].计算机辅助设计与图形学学报,2014,26(9):1528-1535.  
Zhou Jingtao, Yang Haicheng. Homomorphic mapping-based virtualization mechanism for manufacturing resources[J]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2014,26(9):1528-1535. (in Chinese)
- [8] Goscinski A, Brock M. Toward dynamic and attribute based publication, discovery and selection for cloud computing[J]. Future Generation Computer Systems, 2010, 26(7):947-970.
- [9] 曹啸博,许承东,胡春生.云制造环境中的虚拟制造单元[J].计算机集成制造系统,2012,18(7):1415-1425.  
CAO Xiaobo, XU Chengdong, HU Chuansheng. Virtual manufacturing unit in cloud manufacturing [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems,2012,18(7):1415-1425. (in Chinese)
- [10] Hu C S, Xu C D, Cao X B, et al. Study of classification and modeling of virtual resources in cloud manufacturing[J]. Applied Mechanics and Materials, 2011, 121/122/123/124/125/126:2274-2280.
- [11] Li C Q, Hu C Y, Wang Y W, et al. Research of cloud manufacturing and resource encapsulation technology[J]. Applied Mechanics & Materials, 2011, 58/59/60:562-566.

- [12] 赵淳,张霖,任磊,等. 面向云制造交易过程的仿真平台[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(1):25-32.  
ZHAO Chun, ZHANG Lin, REN Lei, et al. Simulation platform for transaction processes in cloud manufacturing[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2016, 22(1):25-31. (in Chinese)
- [13] 李新,董朝阳. 基于本体映射的云制造资源与加工任务智能匹配[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2015(11):157-160.  
LI Xin, DONG Zhaoyang. A method of intelligent matching technique of cloud manufacturing resources and processing tasks based on ontology mapping[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2015 (11): 157-160. (in Chinese)
- [14] 张帅,李海波. 云制造环境中基于工作流的资源选取方法[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(3):831-839.  
ZHANG Shuai, LI Haibo. Resource selection method based on workflow in cloud manufacturing[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2015, 21(3):831-839. (in Chinese)
- [15] 张金广,李锋刚,张磊. 云制造背景下的服务匹配算法[J]. 计算机技术与发展, 2013, 23(3):41-44.  
ZHANG Jinguang, LI Fenggang, ZHANG Lei. Services matching algorithm under cloud manufacturing background[J]. Computer Technology And Development, 2013, 23(3):41-44. (in Chinese)
- [16] 杨娟,吴科宏. 云制造环境下设计需求与服务匹配模式算法[J]. 重庆大学学报, 2016, 39(2):82-88.  
YANG Juan, WU Kehong. A matching model algorithm of design requirements and design services for cloud manufacturing[J]. Journal of Chongqing University, 2016, 39(2):82-88. (in Chinese)
- [17] Yoon C, Hassan M M, Lee H, et al. Dynamic collaborative cloud service platform: opportunities and challenges[J]. Etri Journal, 2010, 32(4):634-637.
- [18] 汪卫星. 云制造资源语义描述和服务匹配策略[J]. 重庆大学学报, 2017, 40(4):33-39.  
WANG Weixing. Cloud manufacturing resources semantic description and service matching strategy[J]. Journal of Chongqing University, 2017, 40(4):33-39. (in Chinese)
- [19] Yin J W, Zhang W Y, Li Y, et al. A peer-to-peer-based multi-agent framework for decentralized grid workflow management in collaborative design[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2009, 41 (3/4): 407-420.
- [20] 杨琛,王中杰,王世明. 基于本体的云制造服务发现模式研究[J]. 制造业自动化, 2012, 34(210):56-59.  
YANG Chen, WANG Zhongjie, WANG Shiming. Research on cloud manufacturing service discovery based on ontology[J]. Manufacturing automation, 2012, 34(20):56-59. (in Chinese)

(编辑 张 苹)