

智慧云制造——一种互联网与制造业深度融合的新模式、新手段和新业态

Smart Cloud Manufacturing—A New Kind of Manufacturing Paradigm, Approach and Ecosystem of Deep Integration of the Internet and the Manufacturing Industry

李伯虎/LI Bohu^{1,3}

柴旭东/CHAI Xudong²

张霖/ZHANG Lin³

(1. 中国航天科工集团二院, 北京 100854;

2. 航天云网科技发展有限公司, 北京 100854;

3. 北京航空航天大学, 北京 100191)

(1. The 2nd Research Institute of CASIC, Beijing 100854, China;

2. CASICloud Co. Ltd., Beijing 100854, China;

3. Beihang University, Beijing 100191, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 05-0002-005

摘要: 提出了智慧云制造的内涵, 即智慧云制造是一种互联网与制造业深度融合的新模式、新手段和新业态。通过航天云网的实践, 给出智慧云制造面向行业、企业、车间不同层次及面向产业链不同阶段开展应用的范例。认为智慧云制造的发展需要注重创新体系的建设, 要实现“技术、应用、产业”的协调发展。

关键词: 智慧; 云制造; 互联网+

Abstract: In this paper, the connotation of the smart cloud manufacturing is put forward. The smart cloud manufacturing is a new kind of manufacturing paradigm, approach and ecosystem of deep integration of the Internet and the manufacturing industry. Through the practice of "astronautics cloud", application cases covering levels of industry, enterprise, workshop and phases of industrial chain are presented. It is believed that the development of smart cloud manufacturing needs to pay attention to the construction of innovation system, and realize the coordinated development of "technology, application and industry".

Keywords: smart; cloud manufacturing; Internet+

当前, 制造业正面临全球新技术革命和产业变革的挑战, 特别是快速发展的新一代信息通信技术, 以及取得重要突破的人工智能技术与制造技术的深度融合, 正引发制造业制造模式、制造流程、制造手段、生态系统等的重大变革。

一些国家纷纷制订国家制造发展计划: 美国政府先后出台的“先进制造伙伴关系”计划 (AMP)、“国家制造业创新网络”计划 (NNMI) 等战略规划; 德国在 2013 年 4 月的汉诺威工业博览会上提出“工业 4.0”战略。

目前, 中国制造业正面临从价值链的低端向中高端, 从制造大国向制造强国, 从中国制造向中国创造, 从经济高速发展进入新常态发展等转

变的关键历史时期。中国工程院《制造强国战略研究》报告中提出中国制造业迫切需要推进 5 个转型升级^[1], 即由技术跟随战略向自主开发战略转型再向技术超越战略转型升级; 由传统制造向数字化网络化智能化制造转型升级; 由粗放型制造向质量效益型制造转型升级; 由资源消耗型、环境污染型制造向绿色制造转型升级; 由生产型制造向生产+服务型制造转型升级。

1 智慧云制造概论

笔者团队从 20 世纪 80 年代即介入制造业信息化研究与应用的工作,

于 2009 年提出了“云制造”的理念, 并开始了以网络化、服务化为主要特征的云制造 1.0 的研究与实践^[2-5]。目前, 云制造已经在全球范围内均取得了较大的影响力^[7-13]。经过近几年的实践, 随着有关技术的发展, 特别是大数据、云计算、移动互联网、高性能计算等新兴信息技术的发展, 3D 打印、智能化机器人、智能制造装备等新兴制造技术智慧化的发展, 以及机器深度学习、大数据驱动下的知识工程、基于互联网的群体智能等人工智能技术的新发展^[14], 云制造的智慧化有了更强有力的技术支撑。因此, 本团队于 2012 年提出并开始了以互联

收稿日期: 2016-07-24

网络出版日期: 2016-09-12

基金项目: 国家高技术研究发展 (“863”) 计划 (2015AA042101)

化、服务化、协同化、个性化(定制化)、柔性化、社会化为主要特征的“智慧云制造”(云制造2.0)的研究与探索,它在制造模式、技术手段、支撑技术、应用等方面进一步发展了云制造1.0^[5],它是“互联网+”时代的一种智造模式、手段与业态,是实施互联网与制造业深度融合的一种制造新模式、新手段与新业态。

1.1 智慧云制造的定义

基于泛在网络,借助新兴制造技术、新兴信息技术、智能科学技术及制造应用领域技术等4类技术深度融合的数字化、网络化、智能化技术手段,智慧云制造构成以用户为中心的智慧制造资源与能力的服务云(网),使用户通过智慧终端及智慧云制造服务平台便能随时随地、按需获取智慧制造资源与能力,对制造全系统、全生命周期活动(产业链)中的人、机、物、环境、信息进行自主智慧地感知、互联、协同、学习、分析、认知、决策、控制与执行,促使制造全系统及全生命周期活动中的人/组织、经营管理、技术/设备(三要素)及信息流、物流、资金流、知识流、服务流(五流)集成优化,构成一种基于泛在网络,以用户为中心,人机物融合,互联化、服务化、协同化、个性化(定制化)、柔性化、社会化的智慧制造新模式,进而高效、优质、节省、绿色、柔性地制造产品和服务用户,提高企业(集团)的市场竞争能力。

“智慧云制造”在制造模式、手段、业态和支撑技术方面都体现了智慧特征。这里的“智慧”特别强调了:创新驱动;以用户为中心的人、机、物、环境、信息的深度融合;数字化、网络化(互联化)、智能化的深度融合;工业化与信息化的深度融合;智慧地运营制造全系统和制造全生命周期的活动。

1.2 智慧云制造系统概念的模型

智慧云制造系统是按智慧云制

造模式和手段构建的制造系统(智慧制造云),其概念模型抽象为“一个核心支持”,即智慧云制造平台;“两个过程”,即智慧服务接入与取出;“三大部分”,即智慧制造资源与能力、智慧制造云池、制造全生命周期智慧应用;“三类人员”,即智慧制造服务提供者、使用者和智慧制造云池运营者,如图1所示。

1.3 智慧云制造系统的体系结构

智慧云制造系统实质是一种基于泛在网络及其组合的,人、机、物、环境、信息深度融合的,提供智慧制造资源与智慧能力,并可以随时随地、按需服务的智慧制造服务互联系统。它就是一种“互联网(云)+制造资源与能力”的智慧制造系统。它的体系结构如图2所示,包括智慧资源/智慧能力层、智慧感知/接入/通信层、智慧虚拟资源/能力层、智慧核心支撑功能层、智慧用户界面层、智慧云服务应用层、人/组织层,并且各层皆有标准和安全技术的支持。

智慧云制造系统的实施范围可以是区域、行业乃至跨行业的层次,也可以是工厂、企业的层次,还可以是制造单元、车间的层次。

1.4 智慧云制造系统的技术体系

智慧云制造技术体系包含八大

类关键技术(如图3所示),是实现智慧云制造所需关键技术的集合,它为智慧云制造的研究指明了方向。

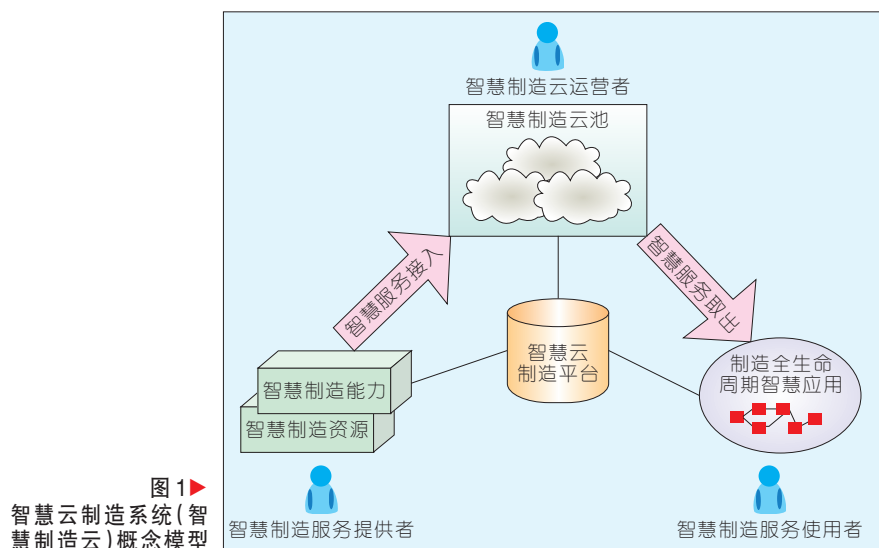
针对构建智慧云制造系统,我们特别提出了智慧云制造软件技术体系,它包括智慧云制造的系统软件技术、平台软件技术以及应用软件技术,如图4所示。

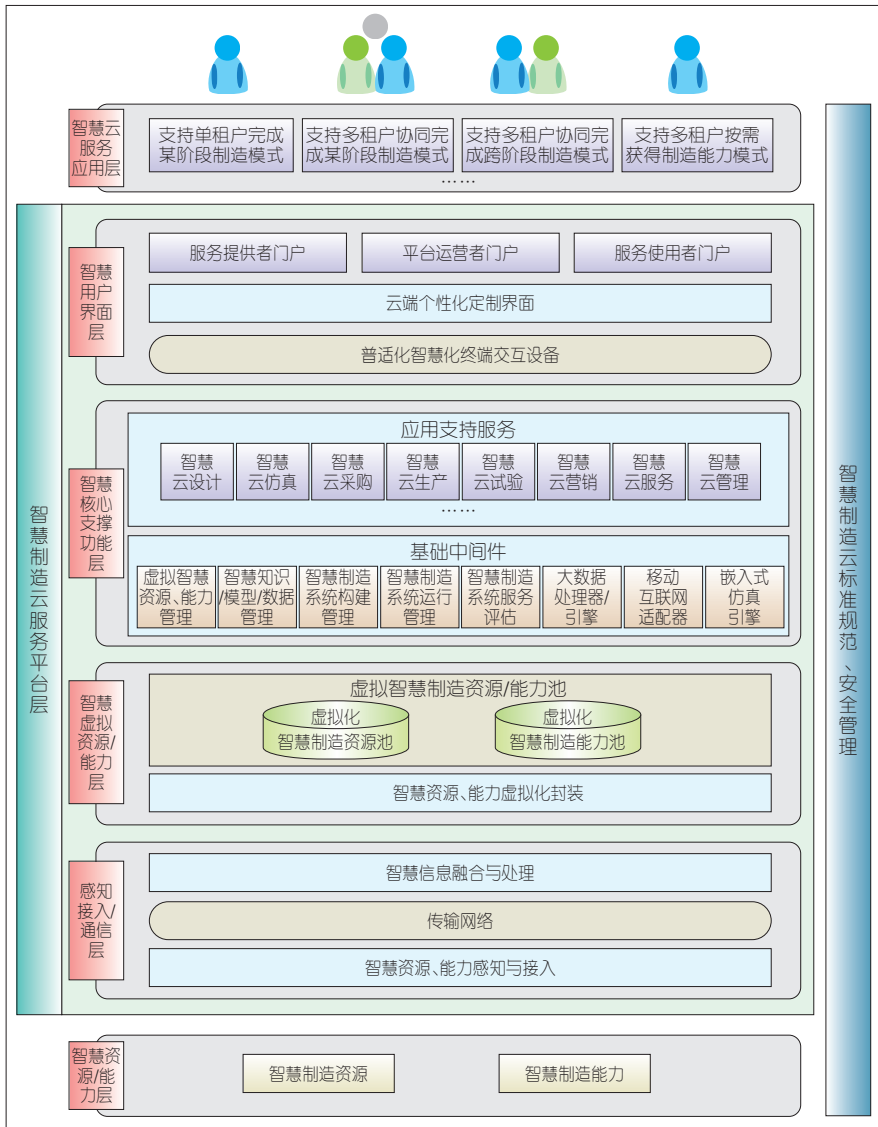
1.5 智慧云制造在制造业与互联网

融合发展中的作用

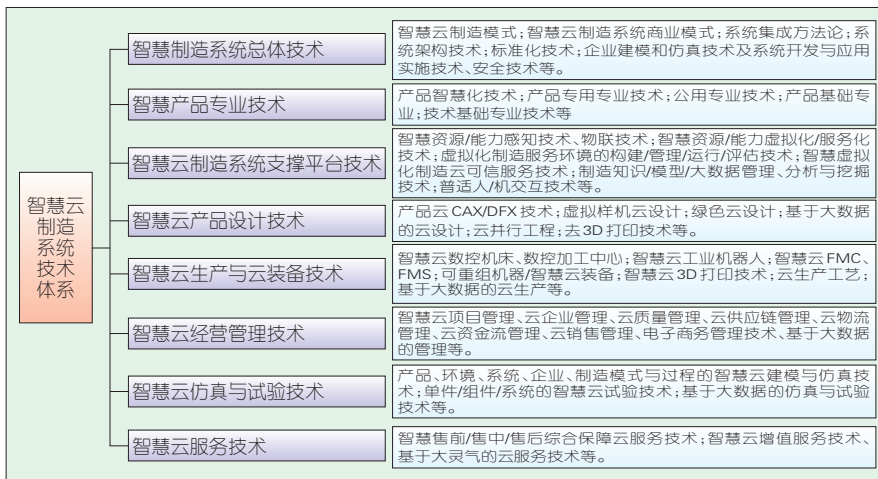
我们认为:智慧云制造是“互联网+制造业”的一种制造模式和手段。首先,它是一种新的制造业经济发展模式,是以用户为中心,产品+服务为主导的,制造全系统随时随地、按需构建与运行的,以互联化、服务化、个性化、柔性化、社会化为主要特征的制造产品和服务用户的智慧制造模式。另外,它是一种新的制造业技术手段,如前所述,制造资源和能力智慧化技术手段包括以数字化、物联化、虚拟化、服务化、协同化、定制化、柔性化、智能化8个方面为特征的人、机、物融合的系统技术手段。新的模式、新的手段形成了一种新的业态——即以“泛在互联、数据为源、开放共享、跨界融合、自主智慧、万众创新”为特征的互联网+世界的新产业生态(如图5所示)。

值得指出的是,云制造相关研究





▲图2 智慧云制造系统(智慧制造云)体系结构



▲图3 智慧云制造系统技术体系

引起其他国家同行的关注,先后有美国、新西兰、英国等大学及研究机构开展云制造研究。2010年8月欧盟第七框架(FP7)启动了“云制造项目”。2013—2016年于美国召开的ASME(顶级)制造科学与工程会议(MSEC)上,新西兰、瑞典、美国、英国、德国等学者组织了多次云制造专题研讨会,本项目成员单位皆被邀发表了技术报告^[6]。

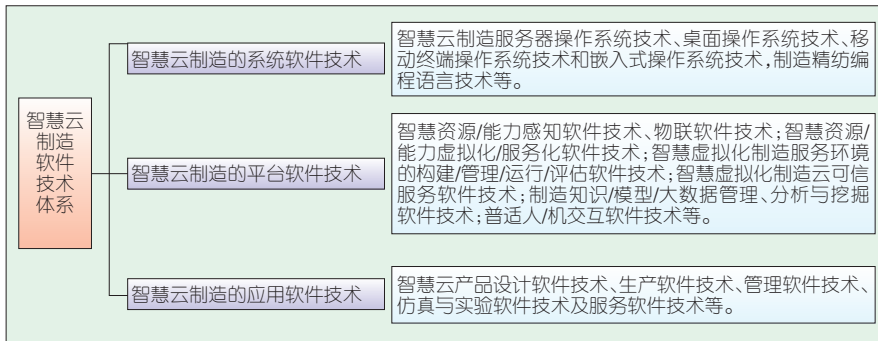
2 航天云网的实践

“航天云网”是中国航天科工集团公司基于本团队于2009年提出的云制造1.0及2012年提出的云制造2.0(智慧云制造)等制造理念、模式、技术手段和业态,研究开发成功的一种“智慧制造系统”雏形。

“航天云网”由3类制造云(网)组成。

(1)“航天(专有)云网”:面向航天科工集团自身装备制造转型升级的战略需求,基于航天科工集团专网,开发并成功运营了面向航天复杂产品的智慧云制造服务平台/系统(也称“航天(专有)云网”)。它是首个央企集团级的云制造服务平台/系统,服务于航天科工集团各类制造企业和产品用户的全要素资源共享以及制造全过程活动能力的深度协同。截至2016年6月30日,共注册企业100多家;光2016年在协作与采购专区发布了上万条需求,需求标的金额超过200亿元,共成交近1000笔,成交金额达数10亿元;在众创空间发布创新项目近200个;在装备保障专区完成多个航天复杂产品数据录入和运用。

(2)“航天(公有)云网”:面向社会各类大中小制造企业转型升级战略需求,基于公有互联网,开发并成功运营了中国首个以生产性服务为主体的“互联网+智能制造”的大型智慧云制造服务平台/系统(也称“航天(公有)云网”)。它服务于中国全社会各类制造企业和产品用户的全要



▲ 图4 智慧云制造软件技术体系

素资源共享以及制造全过程活动能力的深度协同。截至2016年6月30日,共注册企业超过150 000家;制造能力发布1 000多条,协作任务需求发布近10 000条,产品发布20 000多条,采购招标发布近20 000条;协作与采购需求发布金额近300亿元,平台整体成交约1 000笔,成交金额总计近100亿元。

(3)“航天(国际)云网”:面向国际各类大中小制造企业转型升级战略需求,基于国际互联网,开发成功的以生产性服务为主体的“互联网+智能制造”的大型国际智慧云制造服务平台/系统(也称“航天(国际)云

网”)。它目前已经开始与中亚地区的国家合作,服务于国际各类制造企业和产品用户的全要素资源共享以及制造全过程活动能力的深度协同。截至2016年6月30日,共注册企业数将近1 000家,云制造中心制造能力发布约10条,协作任务需求近100条;工业品商城产品发布约100条,采购招标需求约10条;已经开始陆续洽谈成交。

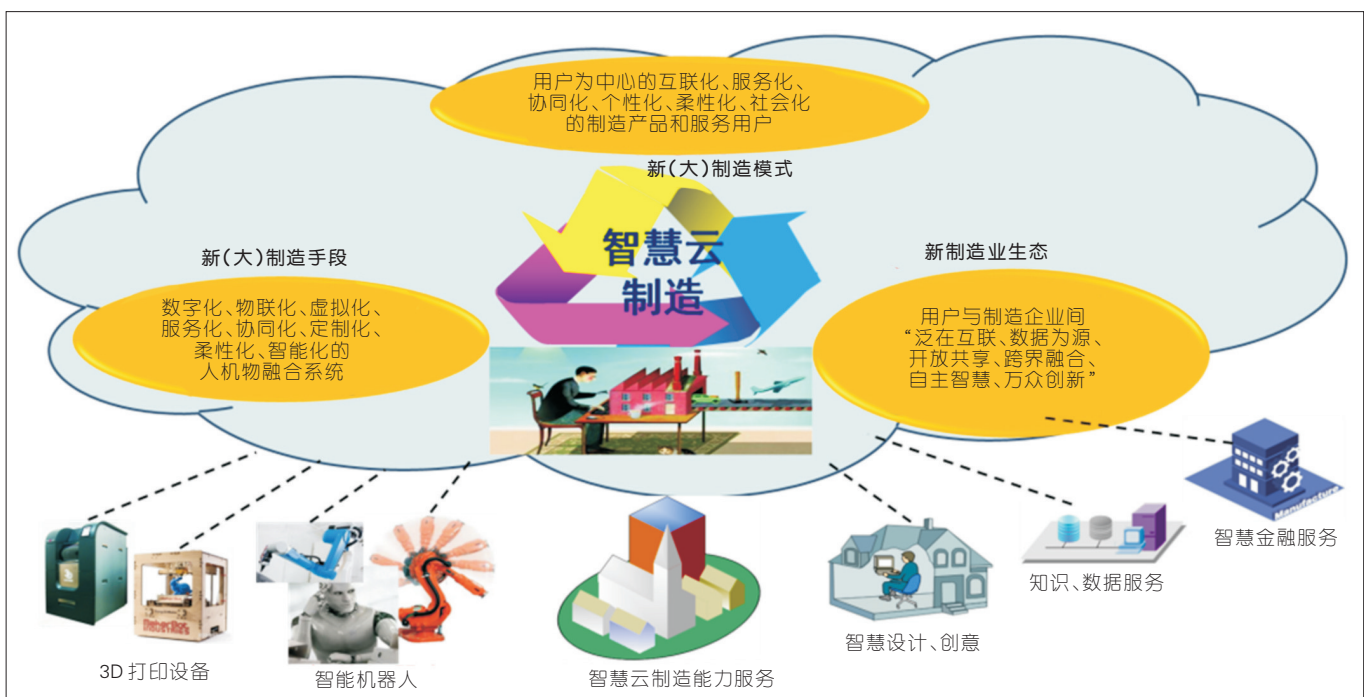
航天云网纵向应用的应用范例主要是按照制造业的范围领域进行划分,按照行业云、区域云、企业(工厂)云、车间云的分类体现智慧云制造在相关范围内的应用。以行业级

应用为例,代表性的案例是中国航天科工集团公司专有云网,目前可以支持开展机加、电装、计量检测、环境试验等协作配套业务,以及标准件、元器件、工具、刀具、模具等物资采购业务。实现了航天集团内制造资源的整合及资源竞争性交易对接,有效缩短了生产周期,提升了生产效率和资源利用率。

航天云网横向应用的应用范例主要是按照制造业产业链进行划分,按照研发设计、生产制造、采购供应链、销售营销等制造业全产业链的分类体现智慧云制造在相关范围内的应用。具体汽车研发应用为例,通过打造基于众包的快速原型研发平台,支持在线异地协同设计,实现设计流程串行到并行的转变,并能摒弃集中开发和集成,将非核心设计工作众包给社会化企业和个人,以此实现社会化研发,有效提升了研制效率和管理效率,极大节约了软件购置和模具定制成本。

3 智慧云制造中的问题

智慧云制造的发展需要注重创



▲ 图5 智慧云制造的新特征

新体系的建设,要实现“技术、应用、产业”的协调发展。有4类问题需要注意。

(1) 技术拓展研究

- 大力发展与融合“互联网+”相关技术,包括重视云制造与大数据技术、新一代网络技术、在线仿真(嵌入仿真)技术、智能科学技术的融合。

- 深化云设计、云生产、云管理、云试验、云服务等应用技术研究,包括云支持下的新模式、流程、手段的研究等。

- 结合各个行业与企业,创造有特色的商业模式,例如:长尾型、工具+等社群、跨界、O2O平台等。

- 重视开展相关标准和评估指标体系研究。

(2) 研究成果的产业化

- 云制造工具集和平台的工程化、产业化。

- 云制造系统的(行业、企业、车间制造云)建设。

- 建立运营团队,并且开展运营服务。

(3) 深化应用实施

- 围绕转变经济增长方式、增强企业市场竞争能力的目标,走良性循环发展的路线。

- 企业一把手挂帅,建立系统工程观点,按复杂系统工程内涵实施云制造系统。

- 制订激励政策,建立创新体系,并组织开展知识、技术、产业发展项目。

(4) 进一步突出中国云制造研究与实施的特点与优势

- 突出应用需求牵引云制造系统建设。

- 突出新一代信息技术、大制造技术、智能科学技术和产品专业技术的深度融合。

- 突出以建立智慧制造新模式、新手段、新生态为核心。

- 突出面向制造企业与产品用户两类对象,实现产品制造全生命周期活动中的资源与能力服务化及制

造系统中三要素与五流的集成以及优化。

- 突出工业 2.0/3.0/4.0 同步发展为途径。

- 突出发挥“政、产、学、研、金、用”的团队力量。

致谢

感谢笔者牵头的“云制造技术研究与应用”团队多年来的共同努力与奉献!

参考文献

- [1] 制造强国战略研究项目组. 制造强国战略研究(综合卷)[M]. 北京: 中国工信出版集团, 2015
- [2] 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
- [3] 李伯虎, 张霖, 任磊, 等. 再论云制造[J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(3): 449-457
- [4] 李伯虎, 张霖, 任磊, 等. 云制造典型特征、关键技术与应用[J]. 计算机集成制造系统, 2012, 18(7): 1345-1356
- [5] 李伯虎, 张霖, 柴旭东, 等. 云制造[M]. 北京: 清华大学出版社, 2015
- [6] LI B H, ZHANG L, CHAI X, et al. Research and Applications on Cloud Manufacturing in China, Cloud-Based Design and Manufacturing (CBDM)[M]. Germany: Springer, 2014
- [7] KUMAR A, SHANKAR R, CHOUDHARY A, et al. A Big Data MapReduce Framework for Fault Diagnosis in Cloud-Based Manufacturing [J]. International Journal of Production Research, 2016:1-14. DOI: 10.1080/00207543.2016.1153166
- [8] BABICEANU R F, SEKER R. Big Data and Virtualization for Manufacturing Cyber-Physical Systems: A Survey of the Current Status and Future Outlook [J]. Computers in Industry, 2016, 81: 128-137
- [9] LEHMHUS D, WUEST T, WELLSANDT S, et al. Cloud-Based Automated Design and Additive Manufacturing: A Usage Data-Enabled Paradigm Shift [J]. Sensors, 2015, 15(12): 32079-32122
- [10] OSTASEVICIUS V, JURINAS V, MARKEVICIUS V, et al. Self-Powering Wireless Devices for Cloud Manufacturing Applications [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016, 83(9): 1937-1950. DOI: 10.1007/s00170-015-7617-x
- [11] TAPOGLOU N, MEHNEN J, VLACHOU A, et al. Cloud-Based Platform for Optimal Machining Parameter Selection Based on Function Blocks and Real-Time Monitoring [J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME, 2015, 137(4): 040909. DOI: 10.1115/1.4029806
- [12] ARGONETO P, RENNA P. Supporting Capacity Sharing in the Cloud

Manufacturing Environment Based on Game Theory and Fuzzy Logic [J].

- Enterprise Information Systems, 2014: 1-18
- [13] LARTIGAU J, XU X, ZHAN D. Artificial Bee Colony Optimized Scheduling Framework Based on Resource Service Availability in Cloud Manufacturing. Service Sciences (ICSS)[C]// 2014 International Conference on Service Sciences(ICSS), USA: IEEE, 2014: 181-186
 - [14] 潘云鹤. 人工智能 2.0 [R]. 北京: 中国工程院, 2015
 - [15] 李伯虎, 柴旭东, 张霖, 等. 云制造研究与发展(制造强国战略研究二期出版物一章)[M]. 待出版
 - [16] Cloud Manufacturing [EB/OL]. <http://www.manuclouds.org>

作者简介



李伯虎, 中国工程院院士, 中国航天科工集团二院国家重点实验室学术委员会主任, 北京航空航天大学学术委员会委员、博士生导师, 现任中国系统仿真学会理事长、中国计算机学会会士、中国自动化学会制造技术专委会副主任等职务; 长期从事系统仿真及制造业信息化方面的研究, 近期研究方向包括复杂系统仿真、高性能仿真计算机系统、云仿真、智慧云制造、智慧城市等; 获得国家科技进步一等奖 1 项、二等奖 3 项, 部级科技进步奖 16 项, 2012 年获国际建模与仿真学会(SCS)授予的“终身成就奖”并入选名人堂; 发表论文 300 余篇, 出版专著 14 本, 译著 4 本。



柴旭东, 航天云网科技发展有限公司副总经理、中国系统仿真学会常务理事、中国工业互联网产业联盟专家委员会技术标准组组长等; 研究方向为复杂系统建模与仿真技术、复杂产品多学科虚拟样机技术等, 现从事系统仿真及制造业信息化方面的工作; 先后主持过多个国家级研究项目; 获国防科学技术进步奖一等奖 1 次、二等奖 2 次, 获教育部科技进步二等奖 1 次等; 发表论文 100 余篇。



张霖, 北京航空航天大学教授、博士生导师, 国际建模仿真学会主席, 中国系统仿真学会常务副理事长, 中国人工智能学会理事, 亚洲仿真联盟(ASIASIM) Fellow, IEEE 高级会员等; 研究方向包括云制造、复杂系统建模仿真、智能物联网、服务网络、软件工程等; 承担各类国家级科研项目 20 余项; 获“国家图书奖”和“全国优秀科技图书奖”暨“科技进步奖(科技著作)”一等奖、教育部科技进步二等奖(排名 1)等奖项; 发表论文 200 余篇, 合作专著 5 本, 已授权国家发明专利 9 项。