

新一代人工智能技术引领下加快发展智能制造技术、产业与应用

李伯虎¹, 柴旭东¹, 张霖², 侯宝存¹, 刘阳¹

(1. 中国航天科工集团有限公司, 北京 100048; 2. 北京航空航天大学, 北京 100191)

摘要: 当前, 正在进入“新互联网+大数据+人工智能+”时代, 新一代人工智能技术引领下的智能制造系统是一种“新互联网+新智能制造资源/能力/产品”的人/机/物/环境/信息新型智能互联制造系统。本文阐释了新一代人工智能技术引领下的智能制造系统的内涵、体系架构、技术系统, 探讨了新一代人工智能技术引领下的智能制造系统雏形初探——航天云网中的基于大数据智能技术, 提出了发展新一代人工智能技术引领下的智能制造系统的若干建议, 特别是重视技术、应用和产业的协调发展, 在突出各国、各行业、各企业特色的同时, 加强与全国、乃至全球的合作与交流, 进而形成新时代下智能制造新模式、新手段和新业态。

关键词: 新一代智能制造; 新型智能互联制造系统; 大数据智能

中图分类号: F424 **文献标识码:** A

Accelerate the Development of Intelligent Manufacturing Technologies, Industries, and Application under the Guidance of a New-Generation of Artificial Intelligence Technology

Li Bohu¹, Chai Xudong¹, Zhang Lin², Hou Baocun¹, Liu Yang¹

(1. China Aerospace Science and Industry Corporation Limited, Beijing 100048, China; 2. Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: This paper first briefly explains the booming era of “New Internet + Big Data + Artificial Intelligence +”, then discussed that an intelligent manufacturing system guided by a new-generation of artificial intelligence technology is a new intelligent interconnected manufacturing system that integrates human, machine, material, environment, and information through “New Internet + New Intelligent Manufacturing Resources/Capabilities/Products”. This paper also explains the connotation, architecture, and technical system of the intelligent manufacturing system guided by a new-generation of artificial intelligence technology, and introduces the preliminary study on its prototype—big data intelligence in the CASICloud. Finally, some suggestions for developing the intelligent manufacturing system guided by a new-generation of artificial intelligence technology are put forward. Particularly, importance must be attached to the coordinated development of technologies, application, and industries; while highlighting the characteristics of different countries, industries, and enterprises, cooperation and exchange with the whole country or even the whole world must be strengthened, thereby forming a new mode, new means, and new form of intelligent manufacturing in the new era.

Keywords: new-generation intelligent manufacturing; new-intelligent interconnected manufacturing system; big data intelligence

收稿日期: 2018-08-10; 修回日期: 2018-08-15

通讯作者: 李伯虎, 中国航天科工集团有限公司, CIMS 总工程师, 中国工程院, 院士, 主要从事建模与仿真系统、虚拟样机工程、云制造系统等研究; E-mail: bohuli@moon.bjnet.edu.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“新一代人工智能引领下的智能制造研究”(2017-ZD-08-03)

本刊网址: www.enginsci.cn

一、前言

近年来，我国经济已经快速进入高质量的发展阶段，随着互联网、大数据、云计算、5G等技术的加速发展，大数据智能、人机混合智能、群体智能、跨媒体推理、自主智能 [1] 等新一代人工智能技术的不断突破，制造技术与新一代智能科学技术及新信息通信技术的深度融合，正在引发制造业从发展理念到制造模式、手段和业态等方面重大而深刻的变革，推动国民经济、国计民生和国家安全等各领域创新、协调、绿色、开放、共享发展。

重大变革的信息新环境（如泛在网络、大数据涌现等）、新技术（如高性能计算能力大幅提升、人工智能模型与算法的突破等）和人类社会发展的新目标（如智能国民经济、智能国计民生、智能国防等）正催生智能制造技术与应用正在加速进入一个全新的“新互联网+大数据+人工智能+”的时代。面对经济发展的强烈需求，发展“新互联网+新智能制造资源/能力/产品”的人/机/物/环境/信息新型智能互联制造系统，成为推进制造业转型升级的主要路径。

二、新一代人工智能技术引领下的智能制造的内涵

从技术手段、特征、实施内容、模式、业态、目标等方面对新一代人工智能技术引领下的智能制造的内涵做如下解读 [2,3]。

(1) 技术手段：基于泛在网，借助新兴的制造科学技术、信息科学技术、智能科学技术及制造应用领域的技术等深度融合的数字化、网络化（互联化）、智能化技术工具，构成以用户为中心，统一经营的智慧制造资源、产品与能力的服务云（互联服务系统），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、产品与能力服务，进而优质地完成制造全生命周期的活动。

(2) 特征：对制造全系统、全生命周期活动（产业链）中的人、机、物、环境、信息进行自主智能地感知、互联、协同、学习、分析、认知、决策、控制与执行。

(3) 实施内容：促使制造全系统及全生命周期活动中的人、技术/设备、管理、数据、材料、资金（六要素）及人流、技术流、管理流、数据流、物流、资金流（六流）集成优化。

(4) 模式：以用户为中心，人/机/物/环境/信息融合，互联化（协同化）、服务化、个性化（定制化）、柔性化、社会化、智能化的智慧制造新模式。

(5) 业态：泛在互联、数据驱动、共享服务、跨界融合、自主智慧、万众创新。

(6) 目标：实现高效、优质、节省、绿色、柔性地制造产品和服务用户，提高企业（或集团）的市场竞争能力。

三、新一代人工智能技术引领下的智能制造系统的体系架构

新一代人工智能技术引领下的智能制造系统就是按新一代人工智能技术引领下的智能制造内涵构建的智能制造系统。新一代人工智能技术引领下的智能制造系统的体系架构 [2,4] 主要包括新智能资源/能力/产品层、新智能感知/接入/通信层、新智能制造云服务平台层、新智能制造云服务应用层、新人/组织层等五个层次，如图 1 所示。

四、新一代人工智能技术引领下的智能制造系统的技术体系

新一代人工智能技术引领下的智能制造系统的技术体系主要包括涵盖新一代人工智能技术引领下的智能制造的总体技术、平台技术，以及制造生命周期活动的智能化技术 [2,3]，如图 2 所示。

五、新一代人工智能技术引领下的智能制造系统雏形初探

作者所在的团队，依托中国航天科工集团在制造业的雄厚实力和在工业互联网领域的先行先试经验，基于新一代人工智能技术引领下的智能制造系统内涵、体系架构与技术体系，研发成功世界首批、中国首个工业互联网系统——航天云网 [5,6]，它是根据中国国情以及信息化时代工业产业发展大趋势，所设计的中国工业互联网。面向我国工业发展

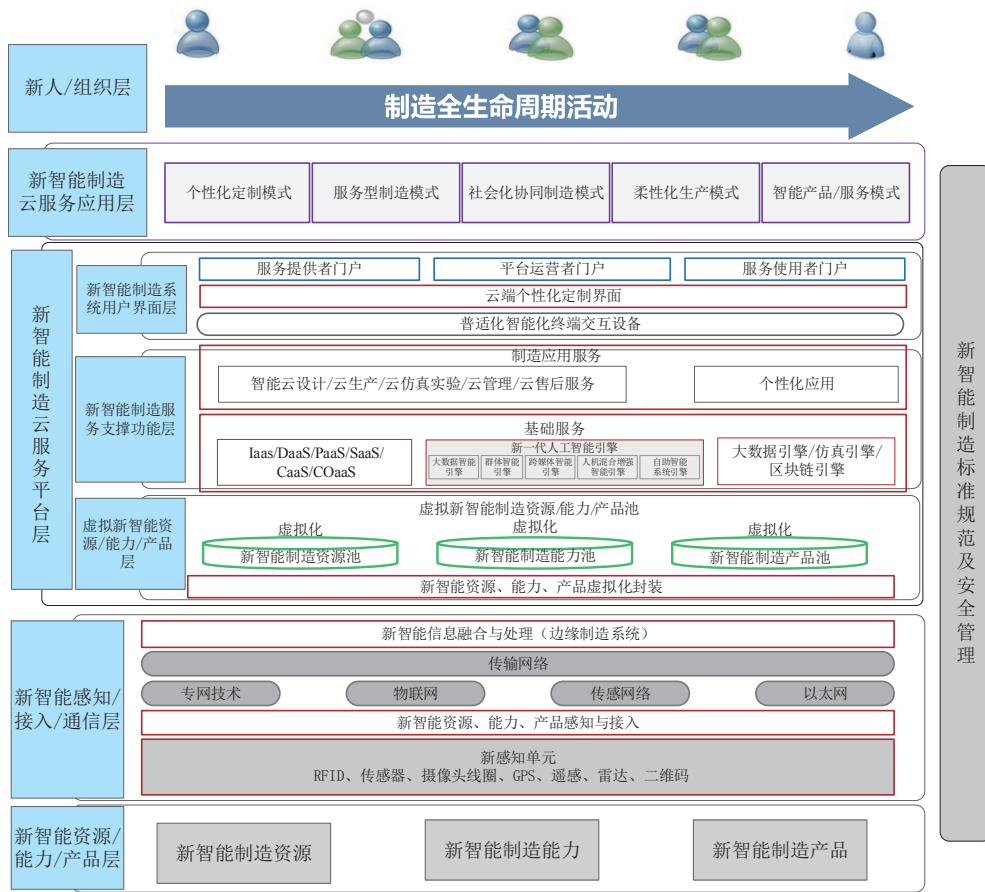


图1 新一代人工智能技术引领下的智能制造系统的体系架构

注：IaaS为基础设施及服务，DaaS为数据即服务，PaaS为平台即服务，SaaS为软件即服务，CaaS为能力即服务，COaaS为协同即服务，RFID为无线射频识别，GPS为全球定位系统。

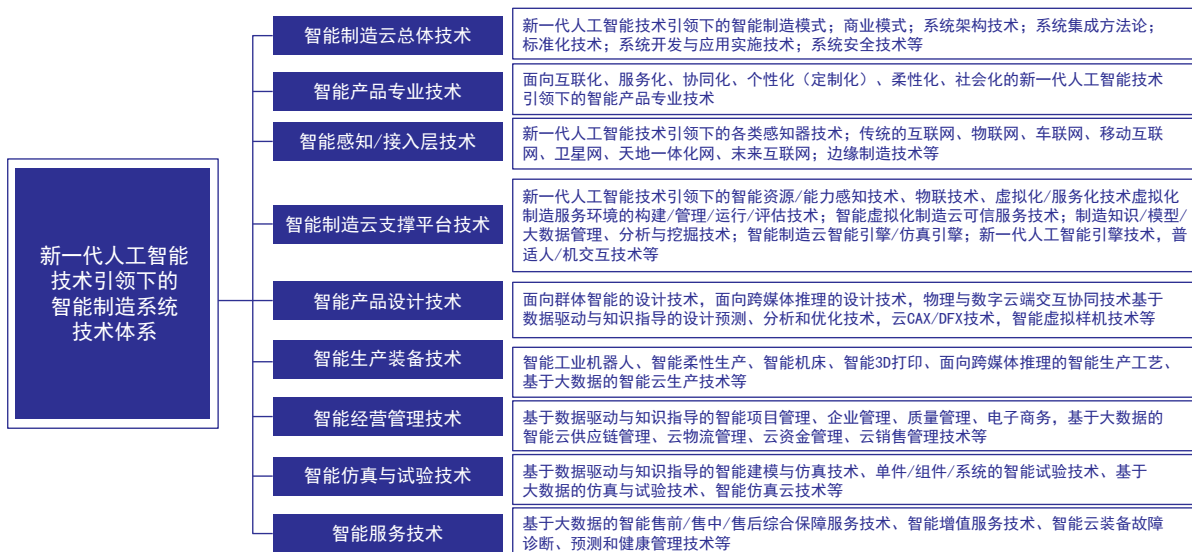


图2 新一代人工智能技术引领下的智能制造系统的技术体系

注：CAX：CAX是CAD、CAM、CAE、CAPP、CIM、CIMS、CAS、CAT、CAI等各项技术之综合叫法，因为所有缩写都是以CA开头，X表示所有；DFX为面向产品生命周期各/某环节的设计的缩写，其中X可代表产品生命周期或其中某一环节，如装配、加工、使用、维修、回收、报废等，也可以代表产品竞争力或决定产品竞争力的因素，如质量、成本、时间等。

基础薄弱，工业发展面临1.0/2.0/3.0并存的局面，航天云网正在实践“并联式”发展，并行推进数字

化、网络化、智能化制造，来全面促进制造业转型升级。本文侧重介绍航天云网的体系架构、基于航

天云网的平台开发的工业大数据 / 人工智能子系统，以及大数据智能技术方面的应用案例及其成效。

(一) 航天云网的体系架构

航天云网的体系架构，如图 3 所示。

(二) 基于大数据智能技术的应用案例

1. 航天云网的工业大数据 / 人工智能子系统

基于航天云网平台应用大数据智能技术，构建了工业大数据 / 人工智能子系统，系统架构图，如图 4 所示。

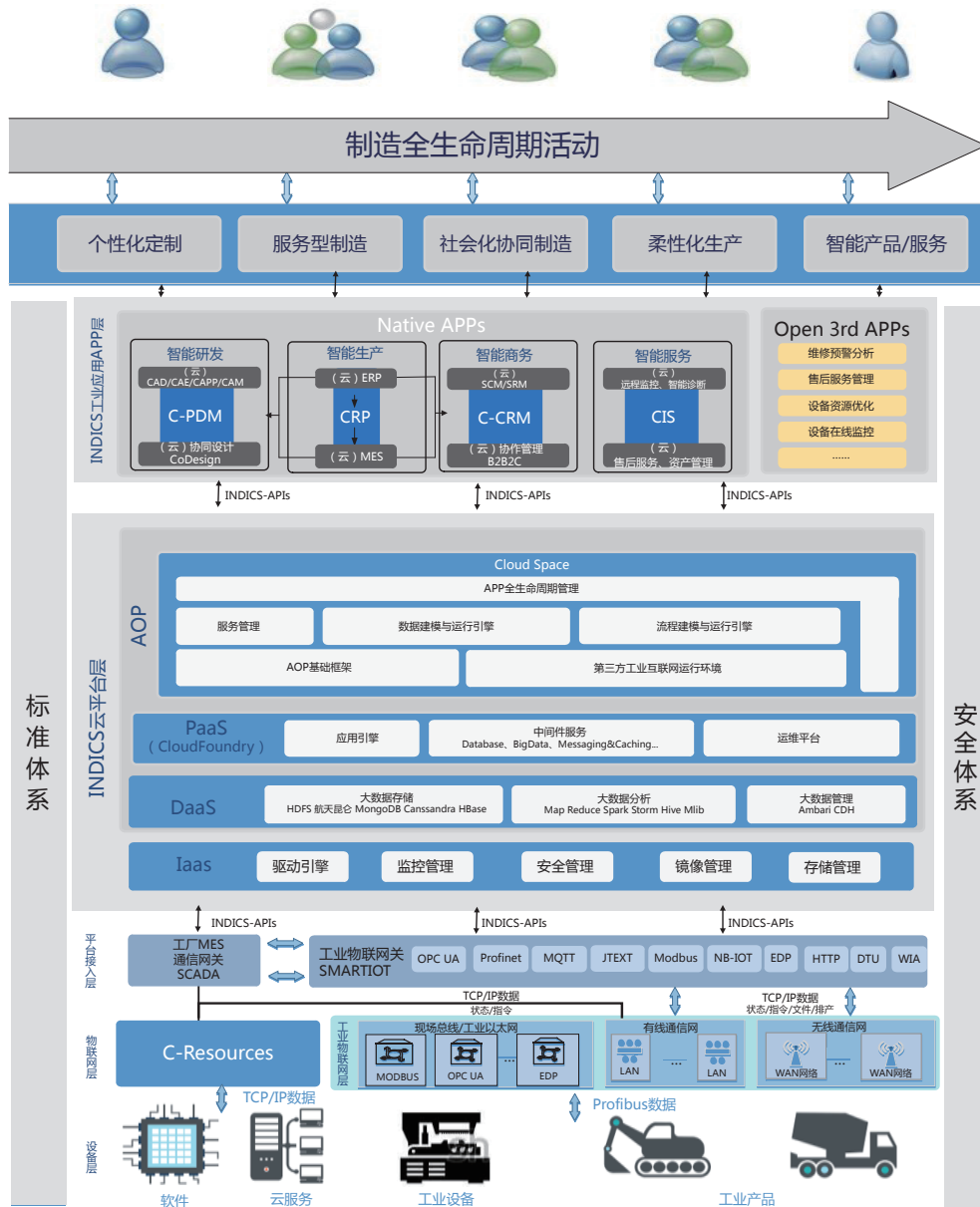


图 3 航天云网的体系架构

注：Native APPs 为一种基于智能手机本地操作系统如 iOS、Android、WP 并使用原生程式编写运行的第三方应用程序，CAD 为计算机辅助设计，CAE 为计算机辅助工程，CAPP 为计算机辅助工艺过程设计，CAM 为计算机辅助制造，SCM/SRM 为供应链管理 / 供应商关系管理，B2B2C 为一种电子商务类型的网络购物商业模式，ERP 为企业资源计划，CRP 为云化资源计划，MES 为生产执行系统，CIS 为企业识别体系，Open 3rd APPs 为开放第三方 APP，AOP 为航天开放平台，Cloud Foundry 为 VMware 推出的开源 PaaS 云平台，HDFS 为分布式文件系统，MongoDB 为一个基于分布式文件存储的数据库，Cassandra 为一套开源分布式 NoSQL 数据库系统，HBase 为一个分布式的、面向列的开源数据库，Map Reduce 为一种编程模型，用于大规模数据集（大于 1 TB）的并行运算，Spark 为专为大规模数据处理而设计的快速通用的计算引擎，Storm 为一个分布式实时大数据处理系统，Hive 为基于 Hadoop 的一个数据仓库工具，Mlib 为一个机器学习库，Ambari 为一种基于 Web 的工具，支持 Apache Hadoop 集群的供应、管理和监控，CDH 为一种分布式系统基础架构，INDICS-APIs 为工业智能云系统平台应用程序编程接口，SCADA 为数据采集与监视控制系统，OPC UA 为 OPC 统一架构，Profinet 为由 PROFIBUS 国际组织推出的新一代基于工业以太网技术的自动化总线标准，MQTT 为消息队列遥测传输，JTEXT 为车载终端扩展协议，Modbus 为由 Modicon（现为施耐德电气公司的一个品牌）发明的用于工业现场的总线协议，NB-IOT 为基于蜂窝的窄带物联网，EDP 为一种基于 DisplayPort 架构和协议的一种内部数字接口，HTTP 为超文本传输协议，DTU 为数据传输单元，WIA 为工业无线网络，C-Resources 为云端资源，TCP/IP 为传输控制协议 / 因特网互联协议，Profibus 为一个用在自动化技术的现场总线标准。

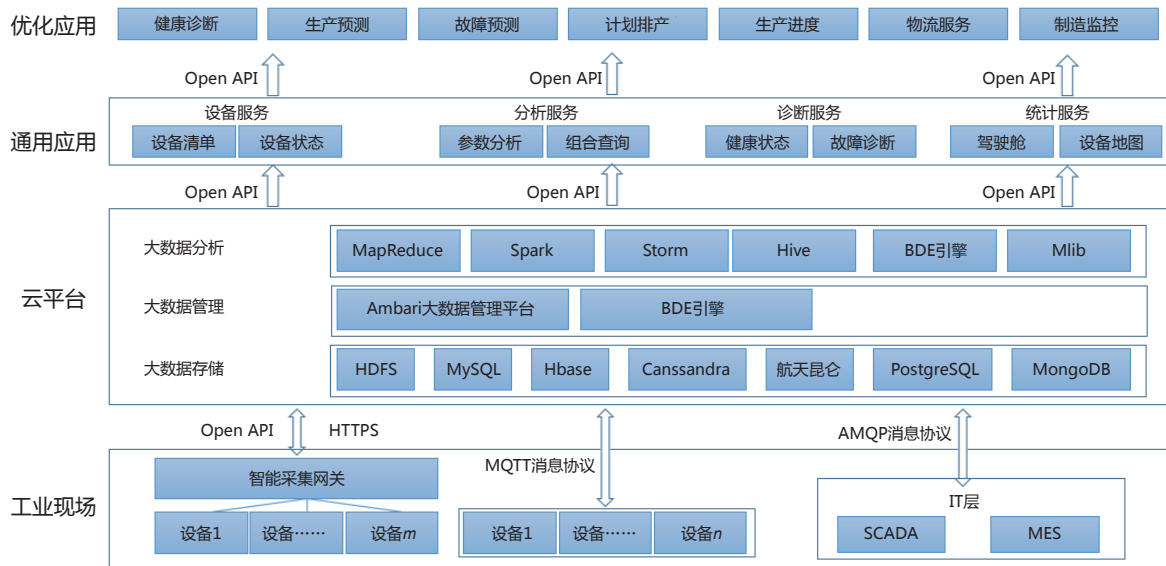


图 4 航天云网的工业大数据 / 人工智能子系统

注：Open API 为开放应用程序编程接口，BDE 为一个数据库引擎，MySQL 为一个关系型数据库管理系统，PostgreSQL 为一个开源对象关系型数据库系统，HTTPS 为超文本传送协议服务器，MQTT 为消息队列遥测传输，AMQP 为一个提供统一消息服务的应用层标准高级消息队列协议，IT 为信息技术。

2. 航天云网的大数据智能关键技术

围绕航天云网的工业大数据 / 人工智能子系统的需求，重点研究大数据获取、存储、管理、分析、应用技术以及确保大数据标准、质量和安全等关键技术。

通过开展大数据集成与清洗技术研究，基于数据仓库（ETL）技术对设备运行的冗余和脏数据进行清洗和转换，实现设备运行数据有效接入。研究基于时序数据库和列式数据库的设备运行数据存储，基于分布式数据库的设备历史数据存储，基于文档数据库的企业数据管理数据存储，对数据质量进行治理和监控，实现企业海量数据的存储和管理。研究基于 Hadoop 的设备综合效率（OEE）、预防性维修等离线分析和挖掘，基于 Storm 的设备运行工况、故障诊断等实时数据处理。研究基于数据可视化建模和商业智能（BI）技术，实现企业数据可视化建模。研究大数据安全技术，研究大数据的加密存储、数据备份、数据访问权限的认证等。应用以上大数据智能技术，实现企业信息化数据、工业物联网设备以及跨界数据的智能化应用，优化现有业务，促进企业转型升级，提升企业的市场竞争力。

3. 基于大数据智能技术的智能制造应用案例

目前，航天云网的工业大数据 / 人工智能子系统在基于大数据的研发、基于大数据的生产、基于

大数据的运维检测，以及智能制造云大数据综合平台等方面取得一定的成效。例如，在航天电缆数据设计过程中，基于航天产品机上电缆设计的经验大数据和综合飞行性能数据，建立航天电缆设计工具 E3，实现机上电缆数字化设计生产一体化，节约六成以上的研制时间并有效改善产品性能。基于航天云网的工业大数据 / 人工智能子系统实现航天制造云排产，针对航天产品的多单位大协同需求，通过云生产执行系统（MES）对多个企业生产加工中心数据进行采集与监控，基于云排产算法实现异地跨企业生产资源的协同排产与优化调度。

六、新一代人工智能技术引领下的智能制造系统发展方面的建议

通过对新一代人工智能技术引领下的智能制造系统的研究和初步实践，我们认为新一代人工智能技术引领下的智能制造系统是加快发展智能制造的一种新技术路线，从模式、手段、业态上体现了“新互联网+大数据+人工智能+”时代特征。

在创新驱动和工业化与信息化深度融合的步调下，坚持技术、应用、产业的一体化协调发展，推动新一代人工智能技术引领下的智能制造系统的持续稳进发展。同时，在中国开放的市场和创新体制下，兼容各国、各行业、各企业的特色，共同推进

新一代人工智能技术引领下的智能制造系统的发展与实施。

参考文献

- [1] Pan Y H. 2018 special issue on artificial intelligence 2.0: Theories and applications [J]. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 2018, 19(1): 1-2.
- [2] 李伯虎, 柴旭东, 张霖. 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 [J]. *中兴通讯技术*, 2016, 22(5): 2-6.
Li B H, Chai X D, Zhang L. Smart cloud manufacturing—A new kind of manufacturing paradigm, approach and ecosystem of deep integration of the internet and the manufacturing industry [J]. *ZTE Technology Journal*, 2016, 22(5): 2-6.
- [3] 李伯虎, 柴旭东, 张霖, 等. 智慧云制造——工业云的智造模式和手段 [J]. *中国工业评论*, 2016 (2-3): 58-67.
Li B H, Chai X D, Zhang L, et al. Smart cloud manufacturing—Intellectual mode and means of industrial cloud [J]. *China Industry Review*, 2016 (2-3): 58-67.
- [4] 李伯虎, 柴旭东, 张霖, 等. 面向新型人工智能系统的建模与仿真技术初步研究 [J]. *系统仿真学报*, 2018, 3(2): 349-362.
Li B H, Chai X D, Zhang L, et al. Preliminary study of modeling and simulation technology oriented to neo-type artificial intelligent system [J]. *Journal of System Simulation*, 2018, 3(2): 349-362.
- [5] 李雪梅. 打造INDICS 推进工业互联网应用实践 [N]. *中国信息化周报*, 2017-09-25 (014).
Li X M. Create INDICS to promote industrial internet application practice [N]. *China Information Weekly*, 2017-09-25 (014).
- [6] 魏毅寅, 柴旭东. 工业互联网技术与实践 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2017.
Wei Y Y, Chai X D. *Industrial Internet technology and practice* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2017.