

基于数据价值链的工业互联网发展趋势

文 葛健 郭慧馨

中国社会科学院工业经济研究所
北京联合大学



葛健

中国社会科学院工业经济研究所副研究员
主要从事管理科学与工程、智慧城市
建设及网络经济方面的研究工作

摘要 工业互联网是新一代信息技术与制造业深度融合的产物，数据价值链是通过先进的建模仿真工具建立的一种技术流程，提供了访问、综合分析工业互联网系统寿命周期各阶段数据的能力，使企业和工业部门能够充分利用各类智能技术，对数据、信息和工程知识无缝集成和交互分析，完成项目的实时分析与动态评估。未来的工业互联网架构将朝着云、边、端一体化协同的智能计算体系发展，依靠数据价值链形成行业泛在的智能网络为智能制造提供支撑。

关键词 工业互联网；云计算；5G 通信网络；智能制造；数据价值链

1 智能制造与数据价值链时代来临

工业互联网深入解决制造业痛点已经成为时代趋势。伴随着“互联网+”、中国制造 2025、物联网和工业 4.0 等热点的不断推动，工业互联网逐渐成为投资风口。制造业数字化、网络化、智能化发展成为各国推动产业转型升级的着力点，也是抢占竞争制高点的重要抓手，工业互联网应用场景不断丰富，广泛应用于石化、钢铁、电子信息、家电、服装、机械、汽车、装备、航空航天等垂直行业和领域。

数据是工业互联网时代的基础，云计算技术和大数据处理又给数据的价值提供了实现的手段，工业互联网是新一代信息技术与制造业深度融合的产物，数

据基于工业互联网的构架能够流动起来，形成全方位各层次的数据链条^[1]。这个“数据价值链”的形成过程是通过先进的建模与仿真工具建立一种技术流程，提供访问、综合并分析系统寿命周期各阶段数据的能力，使企业和工业部门能够基于高逼真度的系统模型，充分利用各类技术数据、信息和工程知识的无缝交互与集成分析，完成对项目成本、进度、性能和风险的实时分析与动态评估。数据价值链的特点是“全部元素建模定义、全部数据采集分析、全部决策仿真评估”，能够量化并减少系统寿命周期中的各种不确定性，实现需求的自动跟踪、设计的快速迭代、生产的稳定控制和维护的实时管理。未来企业信息化工程将在基于模型的基础上进一步经历数据价值链变革。

2 工业互联网生态与数据价值

打造与我国经济发展相适应的工业互联网生态体系，推动工业经济从高速增长向高质量发展加速转变，数据是工业互联网的核心资源，数据价值挖掘是实现工业数字化转型的重要途径，“数据价值链”成为工业互联网“对内提升、对外赋能”的基础。

2.1 业务知识与分析技术之间要无缝对接

发展工业互联网要求业务知识与互联网技术、数据分析技术不能出现相互割裂。业务知识要依托信息技术将业务运营固化并形成新的业务知识，同时，信息技术要根据业务操作的实际才能真正让模型、算法等技术落地。在工业互联网背景下，对人、机、物互联后产生的海量数据，必须以业务知识为指导，基于生产经营的关键价值点获取数据，再结合算法和模型等分析技术，帮助企业解决实际问题。从数据源头开始进行规划，通过业务知识和分析技术相结合，有效地控制和减少数据采集、存储过程中大量的冗余数据，避免数据提取和清洗所带来的效率降低，提高数据分析方法与业务运作的匹配效率，进而产生经济效益和社会效益。

2.2 应用场景与价值发现要无缝对接

现有工业互联网架构中的数据应用总体来看是相对割裂的，应用场景与价值发现没有完全形成闭环。工业互联网在重构工业体系的过程中，通过大数据、云计算、人工智能、物联网等新兴技术的应用，提高生产效率，从而实现资产和业务持续优化。这些价值都隐藏在生产经营的现实场景中，包括各业务环节的相关因素、产品生产和使用的全生命周期等，对这些物理世界中不可见的因素，需要从相关数据中挖掘有价值的信息。通过将应用场景与数据挖掘相结合，可以优化现有生产经营流程并改进产品性能、提升质量；通过对应用场景的深入理解，运用数据挖掘技术为企业发现新的生产经营模式、产品的未知需求和其他增值服务。

2.3 平台数据挖掘与生态系统建设要无缝对接

工业互联网平台是新时代背景下发展工业互联网

的核心载体。平台作为工业大数据存储、分析、展现的媒介，为数据价值挖掘提供了便利。有价值的分析结果和潜在的应用价值，必须对应于企业的生产模式和经营管理模式，从而得以落地和实施，以确保通过数据挖掘得到有价值的信息，实现对产品、制造工艺和设备进行监控和优化等功能。只有工业互联网平台自身形成生态系统，让数据挖掘与系统应用形成无缝对接，才能充分发挥生产制造领域全要素、全产业链、全价值链互联互通的协同作用，使得各类工业数据通过在虚拟环境下的分析和计算，得到有价值的信息并应用到实体经济领域，产生指数级的经济效益。

2.4 数据信息价值积累与知识积累、技术创新要无缝对接

对数据价值进行挖掘，发挥数据的基础资源作用和创新引擎作用，建立知识和问题之间的关联关系，能够从数据分析中获得新知识，既可以对产品性能和质量进行有效管控，同时又能够启发对制造工艺、流程及系统进行精确的建模，产生能够指导制造系统活动的镜像模型，从系统的设计端避免问题发生，实现资产和业务优化。只有加快形成以创新为主要引领和支撑的数据价值挖掘，建立起信息价值积累与知识积累、技术创新的无缝对接，才能通过对海量工业数据的计算和分析，对制造系统的整体运转作做准确决策和即时反馈，并持续积累形成知识和技能的核心竞争力，最终实现智能制造。

3 基于数据价值链的工业互联网系统架构

3.1 工业互联网的描述方法

基于数据价值链的行业工业互联网的系统架构如图1所示。该架构在层级上包括资源层、平台层、应用层、模式层，在架构类型上包括总体逻辑架构和总体技术架构。

3.2 总体逻辑架构的构建思路

资源层主要完成行业统一大数据资源体系的构建任务，相应的要建立行业基础数据库和行业主题数据库；平台层主要是完成行业大数据的治理与管理；应用层主

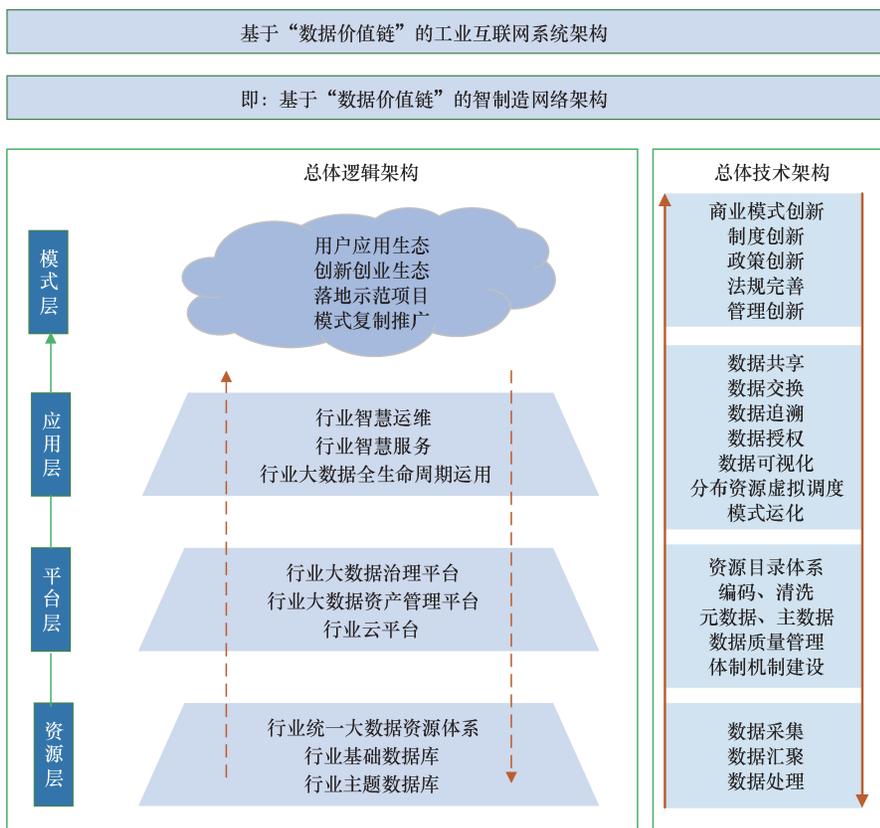


图1 基于数据价值链的工业互联网系统架构

要实现行业智慧运维、行业智能服务及行业大数据全生命周期应用；模式层主要是实现用户应用生态构建、创新创业生态构建、示范项目落地、模式复制推广。

结合5G技术，构建基于“数据价值链”的工业互联网的5G智慧工业互联网，采用“数据闭环”思想，构建包含六大组成部分的工业互联网，六大组成部分为：智能制造行业数据源、智能制造行业边缘脑（Smart Building Edge Calculation Brain, SBECB）（位于边缘端）、智能制造行业云脑（Smart Building Cloud Calculation Brain, SBCCB）（位于云端）、5G网络、统一数据服务总线、控制与决策反馈^[2]。

智能制造行业云脑又包括数据层、智能层、操作系统层。控制与决策反馈部分分为离散型触发与连续型触发两类触发反馈的模式，离散型触发由事件序列触发，事件序列由一系列事件组成，单个事件又由若干数据项组成。连续型触发由高密度数据触发，对应实时性相对较高或紧急的那部分数据。

基于数据价值链的工业互联网采用5G网络-5G智慧工业互联网体系架构设计重点用到了

5G的SDN和NFV技术。SDN（Software Defined Network）全称是软件定义网络。NFV（Network Function Virtualization）全称是网络功能虚拟化。云计算引入了虚拟化技术。SDN是控制和转发解耦，NFV是软件和硬件解耦。两者都是解耦，目的是灵活化。而灵活化的目的是服务于网络切片。网络架构采用SA组网，承载网采用SDN，核心网采用NFV，是5G成为“真5G”的先决条件。SDN具有简化网络配置、节约运维成本的特点，也深受运营商欢迎。除了移动通信之外，很多广域网、城域网、专线业务都在拥抱SDN。在虚拟化平台的管理下，若干台物理服务器就变成了一个大的资源池。在资源池之上，可以划分出若干个虚拟服务器（虚拟机），

安装操作系统和软件服务，实现各自功能。

4 数据价值链的行业大数据管理体系的逻辑

基于“数据价值链”的智能制造行业大数据管理体系架构遵循两个数据逻辑，数据逻辑路线1为“数据-信息-知识-智慧”模式，路线2为“数据-模型-服务-价值”模式^[3]。

基于数据价值链的工业互联网和智能制造行业大数据管理体系需要通过智能制造行业应用体系落地实施（见图2）。

智能制造行业应用体系架构模型包括五大视图：智慧视图、工程视图、制度视图、服务视图、组织视图。在实际项目中，五大视图所涵盖的内容通过高度协同才能真正实现智慧型工业互联网。

5 深度学习在5G工业互联网中的部署

深度学习算法和平台在工业互联网中的部署一般

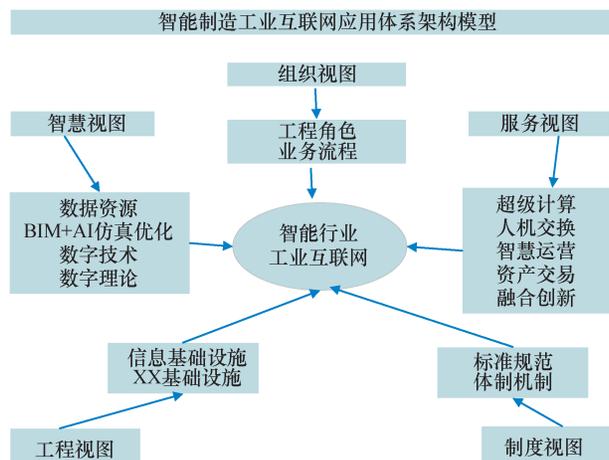


图2 智能制造行业应用体系架构模型

有3种方式：部署在云端、在终端嵌入式设备中以及在边缘计算节点设备中。在实时性要求不太高的应用场景下可将深度学习算法和平台部署在云端。在满足数据采集、传输及识别的实时性需求的前提下，要综合考虑工业互联网中物联网的功耗和成本问题。

深度学习的部署一般有2种方案，一种是在就地设备中，一种是在云端。例如，可以在Nvidia Jetson TX1设备上实现基于CNN的图像目标识别和推理任务，也可将这个深度学习应用部署在云端。实测表明：在功耗方面，本地执行功耗为7W，迁移到云端后功耗降低为2W；在实时性方面，迁移到云端会导致2~5秒的延迟，这在实时性要求较低的场合可以应用，在实时性要求高（例如要求200毫秒内必须反馈）的场合不适用。因此，深度学习是否部署到云端与系统的实时性要求密切相关。在区域范围不大、实时性要求不太高的智慧产业园、智慧社区、智能制造行业综合体视频监控应用场景中，可以采用云端部署深度学习方案。

在实时性要求高的应用场景下可将深度学习算法和平台部署到终端嵌入式设备中。例如，针对消防灭火管控系统的机器学习，选择ARM-Linux片上系统，将Google开发并开源的深度学习平台TensorFlow移植到消防控制机器人核心控制板ARM片上系统中，并开发基于认知计算系统架构的消防深度学习与自主控制系统软件，即可完成消防系统的就地推理机和控制器的裸机研发。CNN推理机的构建采用ARM的

计算库（ACL，developer.arm.com/technologies/compute-library）。ACL为CNNs提供了基本构建模块，包括激活、卷积、全连接和局部连接、规范化、池化和softmax功能。用ACL构建块构建的SqueezeNet架构的CNN推理机，其内存占用空间小，适合于嵌入式设备应用。在需要综合考虑计算资源优化部署时可引入边缘计算。在网络延迟大、网络负载重的情况下，单纯的云计算部署往往不是最佳策略，可以利用边缘节点（例如，路由器或离边缘设备最近的基站）作为云计算的有益补充，通过将计算分散到靠近数据源的地方执行提高响应和传输效率、改进服务。理论上，可以在位于边缘设备和云平台之间的某几个节点上完成边缘计算，包括接入点、基站、网关、业务节点、路由器、交换机等^[4]。例如：智慧家庭场景下会生成庞大数据流流的视频、网络游戏等多媒体应用，单纯依赖云计算平台服务会给使用者造成类似于视频传输不畅、等待时间过长问题，无法满足用户需求，此时可将部分存储和计算服务部署在边缘设备上，就近完成内容服务。

6 工业互联网的集成与商业模式

工业互联网中存在着三大类集成：横向集成、纵向集成、端端集成。这与德国工业4.0中提出的集成类型是一致的。随着移动互联网、BIM、智能终端等技术的发展，端端集成是近几年来发展迅速的一类集成方式。端端集成从工程全生命周期、产品全生命周期的角度，将产品研发、生产、服务等产品全生命周期活动以及行业规划、设计、施工、监理、运维等工程全生命周期活动进行端到端的大范围集成^[5]，实现围绕产品和工程的企业间、个体间的集成与协作。端端集成为工业互联网构建了更加完整和致密的产业链和生态圈，是创新服务模式的关键所在。

智能制造行业泛在的工业互联网的商业模式是P2C2B（平台-产业集群-企业），当前的行业工业化发展正在遵循着这种模式，并在发展过程中不断优化该系统的组成部件及网络体，未来的工业互联网商业模式会逐步渗透区块链思想和技术，很有可能会发展成为去中心化系统，通过自组织方式进行管理^[6]。

7 工业互联网未来发展趋势

未来的智能制造行业架构将朝着云、边、端一体化协同的智能计算体系发展演进，人工智能算法将被嵌入到云端运营管理中心、边缘计算端节点及移动端节点，形成智能制造行业泛在智能物联网^[7]。相应的行业边缘计算节点将进一步细分为3种类型：①边缘计算节点I，即行业分脑边缘计算节点，与运营管理中心云直接互联，形成分布式协同计算体系，一般布设企业、工业园区、产业集聚区。②边缘计算节点II，即控制网内用于就地控制、协议转换、路由等功能的边缘计算。③边缘计算节点III，即感知控制装置内嵌的计算，位于系统网络最底层。移动边缘计算(MEC, Mobile Edge Computing)将成为5G行业物联网的主流计算模式(见图3)。

5G行业物联网也是工业互联网的发展表现形式，工业互联网的发展离不开网络、标识、平台、安全等方面的全面创新探索，5G+工业互联网融合发展将产生叠加倍增效应，助力企业实现远程协同管理、产品服务化、供需对接实时化、智能化生产和管控精细化、无人化，5G与边缘计算相结合成为工业互联网新的探索方向；标识在工业互联网应用将体系化，分布式架构成为新热点；互联网平台已经实现边缘与云端深度协同，应用创新支撑成为提升重点；安全测试、安全认证、数据安全成为研究重点。区块链技术在工业互联网领域应用正在加速，由于区块链技术具备的共享

统一账本、智能合约、机器共识以及保护权限隐私等特点，将能为“网络化生产”推进中遇到的问题，如生产协同、工业安全、信息共享、资源融合、柔性监管等提供相应的解决方案，例如，IBM在2019年8月发布了一个新的区块链网络，用于改善供应链管理，解决身份验证和文档追踪的难题。

工业互联网领域有众多新模式、新业态不断涌现，激发了制造业转型升级活力。例如，海尔通过连通用户和生产销售物流全环节，按需生产和配送，实现大规模定制生产，实现了降本增效。当前专业服务企业、制造企业、工业技术解决方案商、ICT企业等各类主体都在积极建设工业互联网平台。

中国是世界第一制造大国和网络大国，高度重视工业互联网和5G发展，正在聚焦各工业领域，积极推进5G与工业互联网的融合应用和创新发展，由工业和信息化部牵头制定系列政策文件、地方加快推进工业互联网建设，推动生产制造服务体系升级、产业链延伸和数据价值链的拓展，当然，发展依然面临着技术、应用、产业、商业模式等方面的种种挑战，这些发展的问题不是一个企业能够独自解决的，需要政、产、学、研、用、金融多方加强协同、合力突破。

作为制造业企业，需要积极投入工业互联网建设，提高数据创新意识。开展工业互联网试点示范行动，积极支持企业内部的创新发展，充分发扬企业家创新精神，先行先试，由低到高，逐步推进；注重知识产权，增强数据资产的产权保护。建立数据资源的产权制度，从法律层面规范工业数据交易和共享等行为，

完善工业数据安全和隐私保护体系，确保涉及商业机密、敏感数据的信息安全，为数据价值的界定、评估和商业化应用提供制度支持，充分保护数据挖掘产生的商业价值。

地方政府要积极开展工业互联网试点示范行动，坚定不移地支持企业和行业的创新发展，打造一批典型的数据应用案例和业务解决方案，培育和构建数据创新和价值挖掘的应用生态体系，加强试点示范引路，为加快以数据价值挖掘为基础

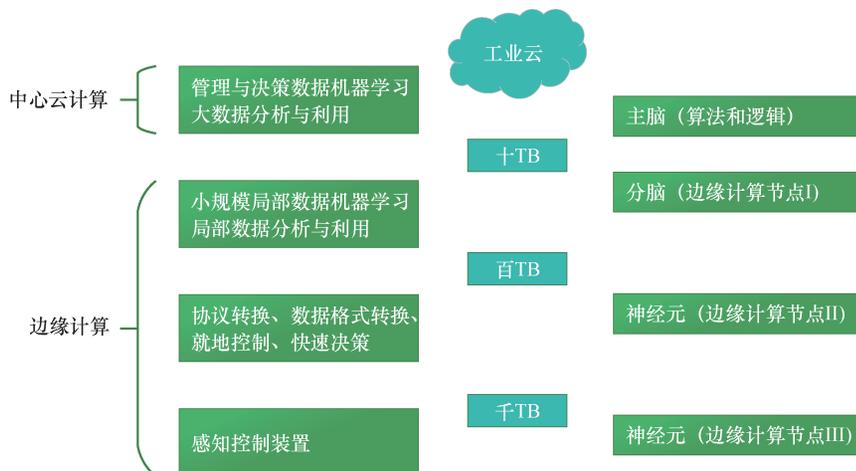


图3 5G行业物联网的主流计算模式

的制造业转型升级和全新迭代模式营造良好氛围。加强人才培养，形成多学科协同规划。工业互联网的落地实施需要大量精通管理、精通行业知识和信息技术的复合型人才。在数据价值挖掘领域，尤其需要既精通工业领域的业务知识，能够清晰描绘具体应用场景，同时又能掌握数据分析和管理的跨界人才，这需要多学科的协同，以实现工业互联网构架下不同层级间数据的集成优化，推进工业互联网的高质量发展。

参考文献

- [1] 刘磊, 谢申祥, 步晓宁. 全球价值链嵌入能提高企业的成本加成吗? 基于中国微观数据的实证检验[J]. 世界经济研究, 2019(11): 122.
- [2] 谢妍. 对外直接投资对全球价值链地位升级的影响——基于中国制造业行业面板数据的实证研究[J]. 市场周刊, 2019(11): 156.
- [3] 杨柔坚. 价值链视角下大数据技术审计价值增值路径研究[J]. 连云港师范高等专科学校学报, 2019, 36(03): 97.
- [4] 郭斌, 蔡静雯. 基于价值链的政府数据治理: 模型构建与实现路径[J]. 电子政务, 2020(02): 77.
- [5] 林沛英. 大数据时代的企业价值链成本会计研究[J]. 科技经济导刊, 2019, 27(23): 227.
- [6] 钱思晨. 基于协同理论的开放数据价值实现研究[D]. 广西民族大学, 2019.
- [7] 李芳. 深化数据挖掘推动工业互联网高质量发展[N]. 学习时报, 2019-11-22. 