

# 工业互联网平台:内涵、演化与赋能\*

陈武<sup>1,2</sup> 陈建安<sup>2</sup> 李燕萍<sup>2</sup>



(1. 江西师范大学商学院, 江西 南昌 330022;

2. 武汉大学中国产学研合作问题研究中心, 湖北 武汉 430072)

**内容提要:**工业互联网平台正在成为驱动企业数智化转型升级的新引擎。本文运用关键词共现和社会网络分析方法,阐释了工业互联网平台及其赋能内涵、演化过程与影响因素和对价值共创等的赋能机理,研究发现:(1)工业互联网平台及其赋能的本质是将工业场景资源全面数字化、模型化,并通过数字化连接物理世界与虚拟世界,促进异质分布数据资源的深度整合、优化与重构,驱动平台和用户生成个性化数据能力以释放数据价值,具有系统性、互动性和个性化特征。(2)从“IoT→IIoT→IIoT平台”演化过程受到技术、组织和环境三类因素影响,未来可能分化出政府主导型、市场主导型、政府与企业共建型三条成长路径,并将从独立分散形态向互融、互促、共生的联合生态体方向发展。(3)工业互联网平台驱动高质量发展、制造业服务化、价值共创、商业模式创新和智能制造,遵循“数据资源行动—数据能力生成—数据价值实现”的赋能逻辑。(4)影响工业互联网平台发展的组态条件、管理模式、组织平台化机制、主体间交互赋能机制、平台生态化治理机制等理论亟待建构。

**关键词:**工业互联网平台 制造业数智化 演化与赋能 数字经济

**中图分类号:**F270 **文献标志码:**A **文章编号:**1002—5766(2022)05—0189—20

## 一、引言

工业互联网平台作为驱动制造业数智化升级和带动创新型中小微企业成长的新引擎,受到前所未有的关注和期待。在顶层设计上,旨在促进工业互联网发展的政策制度相继出台,国务院从2015年发布《关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》,到工信部在2020年发布《关于推动工业互联网加快发展的通知》和在2021年发布《工业互联网创新发展行动计划(2021—2023年)》,试图以制度来引导和推动制造业和各类创新型企业积极发展工业互联网或接入工业互联网平台。在微观基础上,以海尔COSMOplat、阿里巴巴supET、三一重工ROOTCLOUD、施耐德EcoStruxure、通用电气Predix、国际商用机器公司Cloud、思科Jasper等为代表的企业正在努力争夺工业互联网平台建设制高点,且已显现出重大应用价值。如通用电气Predix平台辅助布鲁斯电力公司有效解决发电效率低下、核电设备维护难等问题,实现单个核电设备连续运行500天即可为当地提供全年

收稿日期:2021-11-01

\* **基金项目:**国家社会科学基金重点项目“数字化赋能人力资源服务企业的动态创新能力识别与培育机制研究”(21AGL018);国家社会科学基金重点项目“互联网赋能相对贫困识别与治理长效机制研究”(20AGL032);教育部人文社会科学青年基金项目“‘放水养鱼’还是‘放鱼养水’:众创空间与人孵创客共同成长的追踪研究”(19YJC630016)。

**作者简介:**陈武,男,副教授,管理学博士,研究领域是组织与人力资源管理、创新管理,电子邮箱:wchen@jxnu.edu.cn;陈建安,男,副教授,管理学博士,研究领域是创新管理,电子邮箱:chenjianan@whu.edu.cn;李燕萍,女,教授,经济学博士,博士生导师,研究领域是组织与人力资源管理,电子邮箱:ypli@whu.edu.cn。通讯作者:陈武。

15% 的电力, 平均发电价格降低 30%; 思科 Jasper 平台拥有广泛的全球化部署规模和全新 eSIM 方案, 一旦安装在车辆后即可实现全球测试、全球激活和全球管理; 海尔 COSMOPlat 在疫情期间显现出打破企业“孤岛”的巨大作用, 在 2020 年 1—3 月共监测覆盖全国 31 个区域、18 个行业的中小企业 38786 家, 复工指数 35.37, 复工率 61.37%, 达产率 57.62% (文晓, 2020)<sup>[1]</sup>。

自 2012 年通用电气提出工业互联网概念后, 国内外学者深刻认识到工业互联网作为新一代信息技术, 将成为驱动智能制造的关键破局工具 (武汉大学工业互联网研究课题组, 2020)<sup>[2]</sup>。研究焦点之一就是工业互联网平台, 工业互联网平台本身是一个复杂系统, 数学、计算机、工程学、通信等技术领域科学家从算法与技术架构角度推动着工业互联网平台演化。纵观国外研究, 主要集中在电子电器工程、通信、自动化控制系统领域, 其他领域呈少量散点趋势, 以工业互联网算法和物理信息系统 (CPS) 研究为主, 跨学科研究丛林较为完整。国内学者对工业互联网的关注则自 2015 年“中国制造 2025”被提出后, 研究主题集中在分布式架构、智能制造、人工智能、制造业、数字化转型、物联网、高质量发展、工业 4.0、云计算等方面, 进展相对缓慢。总体而言, 现有工业互联网平台研究偏向技术角度, 以综述工业互联网平台的内涵、技术架构、技术应用领域为主, 从产业、组织管理、经济学、平台等视角出发的研究较少且鲜有实证研究。但既有研究认为平台是工业互联网发展的核心和引擎, 工业互联网对价值共创、生态发展、智慧组织变革等的影响均需要通过平台界面实现。为此, 产业、组织管理等领域学者如何理解工业互联网平台的内涵、理论、演化与赋能对企业运用工业互联网平台的产业实践和未来理论体系构建至关重要。

鉴于此, 本文在文献分析基础上, 着重研究工业互联网平台及其赋能内涵, 从“IoT→IIoT→IIoT平台”的演化历程, 以及工业互联网平台对高质量发展、制造业服务化、价值共创、商业模式创新、智能制造五个方面的赋能机理。本文理论贡献主要有: 一是从综合性视角清晰准确地界定工业互联网平台及其赋能内涵, 为后续研究厘清了概念边界; 二是提出从数据资源行动, 到数据能力生成, 再到数据价值实现的工业互联网平台赋能逻辑, 有效地建立起工业互联网平台与其影响结果之间的作用“桥梁”; 三是从工业互联网平台演化路径、平台生态化治理等角度提出未来研究议题。

## 二、文献选取与分析

### 1. 文献选取与整理

工业互联网是构建工业互联网平台的基础性技术支撑, 为从底层技术探索工业互联网平台的内涵、影响因素、演化过程、赋能结果提供重要依据。本文以“工业互联网”“工业互联网平台”“industrial internet”“industrial internet platform”“industrial Internet of Things platform”为标题、主题、关键词, 在中国知网 (检索时间截至 2021 年 9 月) CSSCI 核心库期刊文献、Web of Science、Taylor & Francis、Elsevier、SAGE、EBSCO 等英文数据库 (时间范围不限) 开展探索性检索, 共获得 96 篇中文文献和涉及机械工程、管理、经济、商业、机器人学、跨学科社会学、自动控制论、社会心理学等 85 个类别的英文文献 1034 篇。

本研究主要从管理、经济、社会科学视角展开, 化学、核科学、算法、机械工程等具体技术性文献不在讨论范围, 最终选择管理、经济、社会学、工程制造、跨学科、绿色可持续发展等 17 个类别中的 114 篇英文文献。为避免文献遗漏风险, 对排除领域文献的标题、摘要进行逐篇筛选, 没有发现需要增补的非技术类新文献。针对搜集的文献, 对其标题、摘要、关键词展开阅读, 剔除与工业互联网平台无关文献、重复文献、书评以及社论, 保留了部分工程领域重要的会议文献。最终, 获得 87 篇中文文献和 88 篇英文文献用于梳理和分析。

### 2. 文献分析

(1) 关键词共现分析。采用 Ochiai 系数 ( $I_{ij} = C_{ij} / \sqrt{C_i C_j}$ ,  $I_{ij}$  表示共现系数,  $C_j$  表示关键词  $i$  和关键词  $j$  同时出现的次数) 研究不同关键词之间的关系。首先, 将格式化后的关键词导入

Bibexcel 软件,计算出出现两次及以上阈值的关键词之间的共现关系,得到共现矩阵;其次,运用 Ochiai 系数处理共现矩阵,获得如表 1 和表 2 所示的关键词共现系数表。最后,结合关键词共现系数结果,分析工业互联网平台研究主题概况和内在关联。

根据共现结果,表 1 中“工业互联网”“高质量发展”“中国制造 2025”“人工智能”“案例研究”5 个关键词的共现系数累计值大于 2.0,表明国内学者重点关注人工智能技术、工业互联网与中国制造业高质量发展之间的关系,且以案例研究为主。此外,“创新路径”“工业 4.0”“互联网+”“数据中心”“数字经济”“信息基础设施”8 个关键词的共现系数累计值在 1.5~2.0 之间,表明后续研究从更加细分的视角研究影响人工智能技术、工业互联网与中国制造业高质量发展关系的因素、方法、路径等。表 2 中“industrial internet platform”“industry 4.0”“manufacturing”“business model innovation”“expert interviews”“multiple case study”6 个关键词的共现系数累计值大于 2.5,表明国外学者关注工业互联网平台与制造业和商业模式创新之间的核心问题,主要以案例研究和专家访谈为主。“industrial internet of things”“architecture”“business model”“cloud computing”“cloud platform”“cyber physical systems”“fog computing”“smart manufacturing”等 16 个关键词的共现系数累计值在 1.5~2.5 之间,表明后续研究主要从工业互联网平台技术架构、算法与系统、商业模式、智能制造、安全隐私角度来拓展核心问题。

表 1 中文文献的关键词共现系数

序号	关键词	共现系数	序号	关键词	共现系数	序号	关键词	共现系数
1	案例研究	2.44	9	互联网+	1.98	17	新基建	1.39
2	创新路径	1.60	10	价值共创	1.46	18	信息基础设施	1.88
3	高质量发展	2.13	11	人工智能	2.30	19	影响因素	1.19
4	工业 4.0	1.90	12	数据治理	1.29	20	政策建议	1.72
5	工业革命	1.00	13	数据中心	1.69	21	制造业	1.88
6	工业互联网	2.86	14	数字化转型	1.91	22	制造业服务化	1.34
7	工业互联网平台	1.00	15	数字经济	1.43	23	智能制造	1.34
8	核心技术	1.10	16	网络强国	1.37	24	中国制造 2025	2.05

注:由于关键词共现系数表格较大,直接提供共现系数数据

表 2 英文文献的关键词共现系数

序号	关键词	共现系数	序号	关键词	共现系数	序号	关键词	共现系数
1	architecture	1.86	11	fog computing	1.73	21	internet of things	1.65
2	blockchain	1.00	12	IIoT	1.45	22	IoT	1.76
3	business model	1.83	13	industrial internet	1.41	23	manufacturing	3.48
4	business model innovation	2.50	14	industrial internet of things	2.28	24	manufacturing service	1.00
5	cloud computing	1.84	15	industrial internet platform	2.80	25	multiple case study	4.15
6	cloud platform	1.88	16	industrial services	1.58	26	openness	1.77
7	cyber physical systems	1.85	17	industrie 4.0	1.33	27	re-industrialization	1.68
8	cyber-physical systems	1.18	18	industry 4.0	2.51	28	security and privacy	1.72
9	digital twin	1.00	19	information technology	1.98	29	smart manufacturing	2.41
10	expert interviews	3.65	20	intelligent manufacturing	1.31	30	wireless sensor networks	1.58

注:由于关键词共现系数表格较大,直接提供共现系数数据

(2) 社会网络分析。将共现矩阵先后导入 Ucinet6.0 软件、NetDraw 软件,得到图 1 和图 2 所示的关键词社会网络分析图。图 1 中以“工业互联网”为核心关键词,研究工业互联网推动高质量发展、制造业服务化、价值共创、互联网+、人工智能、数据中心、数字经济等方面的作用过程,同时探究新基建、数据治理、信息基础设施等影响工业互联网发展的重要机制。图 2 中聚焦 industrial internet of things、industry 4.0 两个核心关键词,研究工业互联网促进商业模式创新、智能制造、工业 4.0、制造业服务化、云计算、安全隐私的作用机制,探讨物联网、区块链、数字孪生、云平台、再工业化对工业互联网发展的驱动机理。

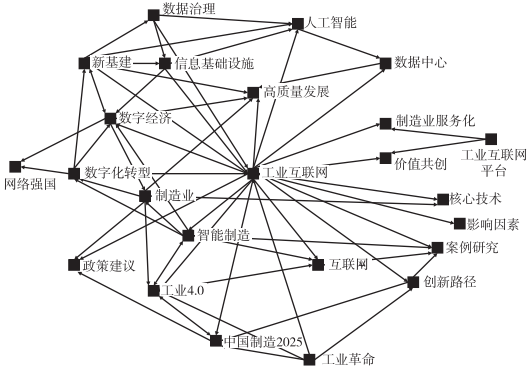


图 1 中文文献的关键词社会网络分析

资料来源:由 NetDraw 软件导出

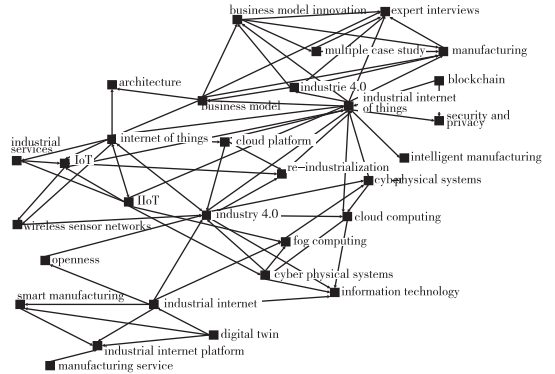


图 2 英文文献的关键词社会网络分析

资料来源:由 NetDraw 软件导出

(3) 主题关键词与核心关键词关系。核心关键词工业互联网与研究主题关键词工业互联网平台存在如下关系:①技术角度。工业互联网是构建工业互联网平台的底层基础技术架构(Guth 等,2018)<sup>[3]</sup>,但是工业互联网对平台企业和用户产生技术赋能作用,需要以工业互联网平台为“桥梁”。由图 1 和图 2 可知,围绕工业互联网为核心的关键词包括区块链、物联网、无线传感器、数字孪生等,工业互联网通过工业互联网平台(云平台)对制造业服务化、再工业化产生影响。②平台角度。平台具有价值交换、多元交互、可拓展性、模块化等特征,可促进价值创造和用户群体互动。工业互联网只是构成工业互联网平台的功能模块之一,工业互联网的发展也需要具备可拓展性且能够实现价值交互,才能获得用户认可并不断提升技术优势,这需要通过平台界面实现。图 2 表明云平台是影响工业互联网发展的重要因素之一。③产业角度。已有研究认为工业互联网生态实质是平台生态,工业互联网平台建设是工业互联网生态建设的基础和促进生态发展的引擎(左文明和丘心心,2022)<sup>[4]</sup>。④组织管理角度。技术与组织变革相辅相成,工业互联网促使企业组织往平台化和智能型组织变革(李海舰和李燕,2019)<sup>[5]</sup>,源于工业互联网对组织管理过程进行数字化改造,这一过程也助推更多的企业能够与工业互联网平台连接,促使平台价值创造能力持续增强,当工业互联网平台演化到自组织阶段,需要更强的工业互联网数字化模块支撑(马永开等,2020)<sup>[6]</sup>。⑤文献分布与产业实践角度。文献分布方面,探讨工业互联网这一底层技术为主且文献数量多,而工业互联网平台的研究正处于从概念内涵、技术架构走向影响制造业发展的过渡阶段(谢卫红等,2021)<sup>[7]</sup>,但以工业互联网为主题的研究却涉及工业互联网平台。文献分布的均衡性影响关键词相关强度,进而影响社会网络分析结果,导致工业互联网平台关键词处于边缘位置。产业实践方面,依据美国知名咨询公司高德纳(Gartner)从 2019 年起连续 3 年发布《全球工业互联网平台魔力象限报告》,报告显示微软、亚马逊、西门子、三星、树根互联等全球知名工业互联网平台企业主要分布在远见者、利基企业两个象限,而在领导者、挑战者两个象限仍无企业进入,表明工业互联网平台产业实践处

于发展初期,与文献分布相印证。综上,本文围绕工业互联网平台这个主题关键词展开分析,并提出未来研究议题。

### 三、工业互联网平台的内涵与技术架构

#### 1. 工业互联网平台的内涵

(1)工业互联网内涵。2012年美国通用电气在《工业互联网:突破智慧与机器的界限》白皮书中首次将工业互联网定义为数据、硬件、软件与智能的流动和交互。后来,由思科(Cisco)、通用电气(GE)、英特尔(Intel)、美国电话电报公司(AT&T)等联合成立的工业互联网联盟,在2014年将工业互联网界定为由实物、机器、人与计算机机器网络组成,拥有人工智能制造、过程控制与个体感知、整合任何性质的网络而进行数据整合与数据分析的全球开放式智能工业系统。国际电信联盟认为工业互联网是信息社会的全球基础设施,通过基于现有和发展的可互操作的信息和通信技术互连(物理和虚拟)事物来实现高级服务。

(2)工业互联网平台内涵。学者们试着从不同角度对其界定,如表3所示:技术视角认为工业互联网平台是融合云计算、物联网技术的制造业云系统;平台视角从资源汇聚与配置服务层面界定工业互联网平台;生态系统视角提出由工业互联网依托平台形成的集生产、设计、研发等于一体的生态系统;综合视角则认为工业互联网平台是一种可以满足制造业数字化、网络化和智能化需求的数据服务体系。

表3 工业互联网平台内涵及与相关概念比较

概念	视角	内涵/提出背景	代表性学者/国家/企业
工业互联网平台	技术	融合信息化制造、云计算、物联网技术的云制造服务模式	Li等,2010 <sup>[8]</sup>
		制造业云操作系统	Wollschlaeger等,2017 <sup>[9]</sup>
	平台	构建基于海量数据采集、汇聚、分析的服务体系,是支撑制造资源泛在连接、弹性供给、高效配置的工业云平台	李广乾,2016 <sup>[10]</sup>
		将制造资源数字化,并实现资源连接和资源配置的平台	权锡鉴等,2020 <sup>[11]</sup>
		面向制造业个性化、网络化和智能化发展需求的开放式、数据化和专业性的服务平台	Mayer等,2017 <sup>[12]</sup>
		工业要素资源的重组与调配的资源配置平台和提供生产智能化服务的资产优化平台	王峰,2017 <sup>[13]</sup>
	生态系统	一种新兴的制造业生态系统,企业研发设计、生产、销售等数字信息被迁移至云数据中心	王玮等,2019 <sup>[14]</sup>
		工业互联网依托于平台的网络虚拟集聚形成的生态	王如玉等,2018 <sup>[15]</sup>
		通过构建一个集成系统,进而成为一种新兴制造业生态系统	Wang等,2020 <sup>[16]</sup>
	综合	基于云制造平台,使“互联网+”与制造业完美结合,促进制造业服务化、数字化发展,进而实现工业互联网价值	谢卫红等,2021 <sup>[7]</sup>
		面向制造业数字化、网络化、智能化需求,构建基于云平台的海量数据采集、汇聚、分析服务体系,支撑制造资源泛在连接、弹性供给、高效配置	国家工信部,2018

续表 3

概念	视角	内涵/提出背景	代表性学者/国家/企业
工业互联网	技术、 政策或 综合	数据、硬件、软件与智能的流动和交互	Evans 和 Annunziata, 2012 <sup>[17]</sup>
工业 4.0		2013 年德国提出,以应对劳动力成本上升和创新能力下降问题,通过虚拟-实体系统(CPS)构建智能工厂	Schuh 等,2017 <sup>[18]</sup>
物联网		实现物与物、人与人、人与物之间的互连	Whitmore 等,2015 <sup>[19]</sup>
先进制造业伙伴计划		2011 年美国提出,目标在于重塑制造业竞争力,通过构建所有企业共享的先进技术网络体系来实现	杜传忠和金文翰,2020 <sup>[20]</sup>
中国制造 2025		中国制造业未来 10 年设计顶层规划和路线图,推动中国到 2025 年基本实现工业化,迈入制造强国行列	中国国务院,2015 年 5 月
智能制造		基于新一代信息技术为,具有信息深度自感知、智慧优化自决策、精准控制自执行等功能的先进制造过程、系统与模式	吕铁和韩娜,2015 <sup>[21]</sup>
社会 5.0		科学技术创新引领社会变革所诞生的新型社会	日本 2016 年提出
ERP		企业决策层及员工提供决策运行手段的管理平台	高德纳咨询,1990 年

(3)与相关概念的比较。由表 3 可知,美国提出的工业互联网侧重技术要素间的交互;德国工业 4.0 注重机械与芯片结合构建智能工厂;物联网强调解决人、物之间的互连;ERP 聚焦企业工作流程优化和决策效率提升;日本的社会 5.0 将各种“物”通过网络连接,实现超智能社会;“中国制造 2025”旨在推动智能制造,提升制造业竞争优势。图 2 表明工业互联网、数字孪生等是工业互联网平台的重要技术支撑,工业互联网平台是驱动制造业服务化的关键要素,而制造业服务化是提升制造业数智化水平的核心手段,最终对工业 4.0 等国家战略形成支撑。由图 3 所示的概念演变历程,也可知工业互联网平台与相关概念之间存在继承与发展关系。一方面,工业互联网、物联网等先进技术,以及工业 4.0、先进制造业伙伴计划、中国制造 2025 等国家战略分别成为推动工业互联网平台发展的技术和政策支持体系;另一方面,工业互联网平台是上述技术的集成载体,并成为实现各国战略目标的重要工具。

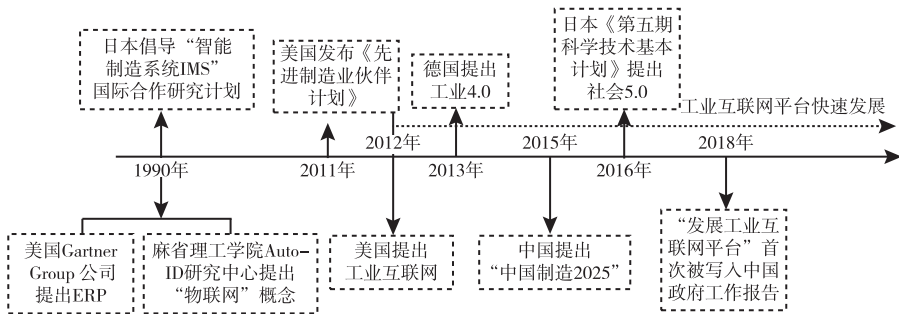


图 3 相关概念演变历程

资料来源:作者整理

(4)本文的界定。综观现有工业互联网平台研究,可从中归纳出工业互联网平台概念包含的基本要素:一是技术系统的集成载体,融合数据采集、分析、建模、应用开发、云计算等信息技术,解决单个技术之间协同障碍问题;二是创新物理世界与虚拟世界的连接方式,实现资源的重组与配置;三是提供个性化的解决方案。基于此,本文将工业互联网平台界定为:面向工业数字化应用场景的新一代信息技术集成载体,能够将物理世界与虚拟世界业务抽象化并进行数字化连接,以满足用户

个性化需求的云赋能综合服务平台。工业互联网平台具有三个基本特征:一是系统性。需要对平台企业、用户需求、设备、数据采集、数据建模、数据分析、数据安全、技术兼容、开放性、标准与个性化等进行系统设计与思考。二是互动性。工业互联网平台由众多要素构成,如数据要素、软硬件要素、企业主体、制度要素等,这些要素之间会发生利益、资源、价值、知识经验等方面的持续互动。三是个性化。工业互联网平台面向大中小企业各类用户需求场景,除解决用户共性问题外,更需要解决用户的个性化问题。

## 2. 工业互联网平台的技术架构

综合工业互联网联盟、德国工程师协会、《工业互联网平台白皮书(2017)》、Guth等(2018)<sup>[3]</sup>等研究,可知工业互联网平台技术架构由 SaaS、PaaS、IaaS 和边缘层构成。其中,SaaS层(软件即服务)为用户企业在生产、设计、管理、服务等方面提供 APP 应用软件和解决方案,并根据用户企业特定场景应用需求提供个性化方案。PaaS层(平台层)属于核心技术层,包括三大模块,工业数据建模和分析模块主要解决企业海量数据的建模与应用,一方面将行业知识、生产工艺、技术原理、经验等数据进行数字化建模,实现工业机理建模;另一方面对工业数据之间的相关性进行数字化建模,实现大数据分析建模。工业数字化建模实现了工业生产和业务过程的可视化描述,辅助用户企业开展精准地预测、决策分析,该模块决定了工业数据应用价值的高低,是 PaaS 的核心。工业大数据系统帮助用户企业通过特定的算法管理、清洗、分析工业数据。PaaS 平台资源部署和管理属于分布式模块化微服务架构,用户企业可以结合自身需求进行云部署和开发。IaaS层(云基础设施),包括服务器、存储、网络、虚拟化资源等技术基础通用模块,用于支撑云计算。边缘层控制器或传感器采集实时数据,通过特定的协议解析转换为统一的数据格式,以数字孪生技术模拟物理实体在现实环境中的行为,推动物理实体的迭代拓新。

## 四、工业互联网平台的理论视角

国内外学者从组织行为等六个视角对工业互联网平台进行了有益探索,如表 4 所示。

表 4 工业互联网平台各理论视角比较

理论视角	典型理论	关注点	研究方法	代表性文献
组织行为视角	价值共创理论	工业互联网平台演化与相适配的价值共创模式	理论研究、案例分析	马永开等,2020 <sup>[6]</sup>
	自组织理论	工业互联网平台与产品、组织内外环境互嵌引发组织智能化变革	概念分析、统计分析、文献研究	Porter 和 Heppelmann, 2014 <sup>[22]</sup>
	社会资本理论	工业互联网平台形成的虚拟社会网络与虚拟社会资本	案例分析、文献研究	权锡鉴等,2020 <sup>[11]</sup>
平台视角	公平理论	资源管理与共享、制造服务化	描述性分析	Xu,2012 <sup>[23]</sup>
	赋能理论	工业互联网平台企业与集群间的交互	案例分析	朱国军等,2020 <sup>[24]</sup>
产业视角	生态系统理论	工业互联网产业集群运作机理与结构、工业互联网平台生态建设	文本挖掘	左文明和丘心心, 2022 <sup>[4]</sup>
经济学视角	博弈论	工业互联网平台应用领域、技术架构、信任、安全与隐私	文献研究	Atzori 等,2010 <sup>[25]</sup>
技术视角	控制理论	供应链、业务流程优化、智能制造协同	文献研究、计算模型	Ngai 等,2008 <sup>[26]</sup>
“反管理”视角	“反管理”理论	数据化商业生态系统	案例研究	孙新波等,2022 <sup>[27]</sup>



## 1. 组织行为视角

组织行为视角主要包括价值共创理论、自组织理论、社会资本理论。价值共创理论强调企业与企业共同创造价值,学者将消费互联网领域的价值共创研究引入工业领域,认为企业可以将产品或者服务接入工业互联网平台与其他企业用户共同创造价值,如特斯拉车联网平台、三一重工 EVI 工业互联网平台等(马永开等,2020)<sup>[6]</sup>。自组织理论关注组织形成与发展的条件、方式、进化形式和协同效应,工业互联网平台与企业产品、组织内外环境互嵌,促使组织实现自主监控、自主控制、自主优化和自主诊断,实现产品与和系统自我协调、自主的产品增强和个性化(Porter 和 Heppelmann,2014)<sup>[22]</sup>,与之相适应的智能型组织需要重新审视新工业革命背景下的组织时代特征(王易和邱国栋,2020)<sup>[28]</sup>，“颠覆式”的管理变革成为新常态(李海舰和李燕,2019)<sup>[5]</sup>。社会资本理论认为通过社会网络关系可以获得社会资本资源,工业互联网平台的本质是以数字要素形式存在的社会资本聚集,平台主体建构通过互联网上传物资需求信息的企业和上传物资供应信息的企业间的虚拟社会网络关系,实现虚拟社会资本向现实社会资本转化,并进行优化配置(权锡鉴等,2020)<sup>[11]</sup>。可见,组织行为视角关注工业互联网平台企业和用户之间的行为关系,以及行为对组织引发的后果。

## 2. 平台视角

平台视角着重工业互联网平台双边用户的竞争策略和价值交互关系。主要包括公平理论、赋能理论。公平理论关注社会比较,该理论认为工业互联网平台企业和用户均会通过自身的投入与产出进行比较,进而选择相应的行为策略,工业互联网平台企业可能会基于自身优势,对弱小的用户企业采取按需付费策略,形成数据锁定等安全问题(Xu,2012)<sup>[23]</sup>,在制造业服务化价值交换过程中,满足用户企业个性化需求的增值服务将成为企业差异化竞争力的来源(唐国锋和李丹,2020)<sup>[29]</sup>。赋能理论是以开放性平台、硬件载体和软件算法为支撑,通过跨界、交互获得新发展势能,该理论认为交互赋能可以将企业平台与市场平台连接,实现企业集聚价值共创。基于海尔、徐工案例,发现工业互联网平台与企业集聚通过各自的势能、动能、内能之间的交互赋能,能够驱动工业互联网平台企业演化(朱国军等,2020)<sup>[24]</sup>。总体来看,平台视角下工业互联网平台与企业商业模式间的关系是当前学者探讨的核心议题。

## 3. 产业视角

产业视角认为工业互联网的本质是一种全新的产业集群形式,是依托平台的网络虚拟集聚,并形成工业互联网平台生态(马永开等,2020)<sup>[6]</sup>,主要以生态系统理论为主。生态系统理论认为产业生态中的个体或单个企业具有与自然界生物类似的生命周期和能量物质循环过程,工业互联网是基于网络的虚拟集聚,区别于传统地理空间上的产业集群(王如玉等,2018)<sup>[15]</sup>,平台是构建工业互联网生态的核心,包括内部主体要素和外部环境要素,内部主体要素当中以平台领导企业(如制造企业、信息技术企业)为主导种群;合作者、消费者和竞争者为关键种群;政府、高校、金融机构为支持种群;尚未形成寄生种群。外部环境则包括经济、政治、技术、社会,均是工业互联网生态发展的重要驱动力,最终形成平台核心—链式关联—生态网络工业互联网产业集群生态系统(左文明和丘心心,2022)<sup>[4]</sup>。

## 4. 经济学视角

经济学视角主要关注博弈论,基于博弈论思想,个体或企业需要平衡使用工业互联网平台产生的收益和潜在风险,物联网技术被广泛用于多个行业领域,利用传感器实时收集各类数据并进行跟踪和监控,深刻影响制造自动化、物流、商业管理、智慧交通等(Xu等,2018)<sup>[30]</sup>,但信任、安全与隐私问题导致用户产生抵制,主要存在不透明的数据采集、基础设施和软件的脆弱性、数据的不完整性、身份验证难、数据产权与交易等问题(Atzori等,2010)<sup>[25]</sup>。可见,经济学视角关注技术架构体



系和应用领域中的利益与风险博弈问题。

### 5. 技术视角

技术视角重点关注支撑工业互联网平台的技术体系,核心在于控制,控制理论主要考察机械和人类的自我调节系统。工业互联网平台是实现智能制造的关键推动力,通过整合分布式制造服务,完成复杂的制造任务(Wang等,2019)<sup>[31]</sup>,工业互联网平台的技术体系能够显著改善企业的业务流程、供应链管理和制造过程中的协作关系,可以实现实时化、精准化、透明化和精细化需求(谢卫红等,2021)<sup>[7]</sup>。为此,技术视角下的工业互联网平台研究的主要观点是通过工业互联网技术将生产资源转化为可被感知、推理和交互的智能制造对象,强调通过收集、分析工业大数据实现监控、调度和决策。

### 6. “反管理”视角

中国学者认为需要从哲学溯源属性层面提出工业互联网平台研究的新理论视角。目前仅构建了“反管理”理论,该理论将工业互联网平台视为管理主体,赋能对象作为客体,以海尔和通用电气为案例,发现工业互联网平台遵循“数据资源行动—数据能力生成—生态价值实现”的赋能机理(孙新波等,2022)<sup>[27]</sup>。

总体而言,虽然现有研究从组织行为、产业、平台等视角对工业互联网平台理论进行了初步建构,但主要采用成熟理论衍生的方式,并没有形成理论体系,也没有清晰的理论脉络。研究方法层面仍然以概念分析、学理探讨和案例分析为主,这与工业互联网平台实践处于发展初期相呼应。未来继续探索并构建工业互联网平台理论体系仍是学术界核心议题。

## 五、工业互联网平台的演化进程、驱动因素与趋势

### 1. 工业互联网平台演化进程

(1)从物联网到工业互联网。由关键词网络图可知,物联网(IoT)的直接指向为产业服务和工业互联网,表明推动阿里、腾讯等消费互联网企业腾飞的物联网技术正在与产业领域融合,形成工业互联网,从华为、海尔等企业的产业实践来看,物联网属于工业互联网技术架构中支撑智能边缘计算的关键技术。综合来看,绝大多数研究的注意力集中在物联网对企业与消费者之间的作用,尚未探讨从物联网到工业互联网的演化规律,这不利于为碎片化、差异化极大的工业应用场景提供有效的理论指导。

(2)从工业互联网到工业互联网平台。工业互联网从技术论证逻辑走向产业实践逻辑,需要以平台为支撑,如海尔 COSMOPlat、浪潮云 In-Cloud 等均是平台模式对主导企业和连入平台企业提供赋能作用。然而,从关键词网络图来看,现有研究更加关注工业互联网与智能制造、工业 4.0、数字化转型之间的关系,但技术发挥作用还需要相应的管理体系作为支撑,目前鲜有研究探讨主导企业如何实现工业互联网平台化发展议题,如需要何种管理模式或平台化机制,这些问题关系到工业互联网平台治理及其对自身和用户的赋能效果。

(3)工业互联网平台从低级向高级演化。产业界将工业互联网平台的发展演化划分为短期和长期两个阶段(O'Halloran 和 Kvochko,2015)<sup>[32]</sup>。短期发展阶段包括运营效率提升和新服务或产品提升两个阶段:前一阶段主要通过采用工业互联网平台来预测维护资产管理,减少设备故障,以及改善工人工作条件等,达到增加收入或节约成本的目的;后一阶段是基于海量数据,借助工业互联网平台来开发新业务,包括数据货币化、产品即服务、软件即服务。长期发展阶段包括结果经济和智能拉式经济阶段。前一阶段是以工业互联网平台生态系统为支撑,实现按结果收费模式。后一阶段是工业互联网平台发展的终极形态,实现了工业互联网与消费互联网的融合,智能满足个性化需求。国内学者认为工业互联网平台会沿着“建设起步—功能完备—应用拓展—专业深耕—生

态繁荣”的演化路径由低级到高级逐步动态迭代递进(李君和邱君降,2019)<sup>[33]</sup>。基于海尔等案例,发现工业互联网平台组织的成长会经历融合共创、成长共生、成熟演化三个阶段(朱国军等,2020)<sup>[24]</sup>。

总体来看,现有研究一致认为工业互联网平台发展并未达到产业界预期。可能的原因是高昂的工业互联网平台建设成本,数字化是企业接入工业互联网平台的前提条件,但数字化本身需要巨大的投入;不同行业知识差异较大,导致工业数据机理建模难度较大,用户出于商业秘密保护动机,其接入工业互联网平台的意愿较低(马永开等,2020)<sup>[6]</sup>。由此,导致工业互联网平台难以呈现规模效应。虽然学术界对工业互联网平台演化提出了预测性路径,但并未指明不同阶段的演化存在哪些驱动条件,主导企业如何伴随着工业互联网平台演化,其组织和治理需要做出何种适应性变革,这些问题的解决对工业互联网平台发展至关重要。

## 2. 工业互联网平台成长的驱动因素

(1)技术因素。主要包括开源技术、基础性技术和平台建设技术。开源技术主要来自开源社区和开源平台,参数技术公司、通用电气、西门子等企业是开源社区建设的主导力量,开源平台则包括海尔 COSMOPlat、西门子 MindSphere 等,但中国工业互联网平台在核心技术层面处于国外企业垄断困局中,如开源软件基本采用 OpenShift、CloudFoundry(吕铁,2020)<sup>[34]</sup>。基础性技术主要涉及工业软件、控制硬件、网络与信息安全技术等。工业软件的垄断性劣势阻碍工业互联网平台生态建设,并导致网络信息安全问题,进而影响用户接入意愿,由此引致应用场景缺乏进一步制约工业互联网平台发展。平台建设技术主要包括边缘计算、大数据分析、工业机理建模、应用开发等,工业机理建模缺乏建模工具和通用方法,用户的个性化需求与微服务难以满足;大数据分析技术缺乏自主研发工具,限制了对工业数据的处理、决策和改进能力;边缘计算层面缺少统一标准的数据互通接口和数据解析协议,由此产生的“数据孤岛”制约工业互联网平台的大规模应用(王君泽等,2020)<sup>[35]</sup>。由关键词分析结果,可知数据治理、物理信息系统、云计算、区块链、无线传感器等均是影响工业互联网平台发展的技术因素。现有文献从技术竞争与技术构成角度描述工业互联网平台发展现状,而结合行业、企业、区域、技术特点对影响企业采用或发展技术的因素、条件、机制缺少理论分析,特别是与技术运用相匹配的组织结构、管理模式等均未明晰,对核心企业或用户来说,盲目“上马”兼容性和有用性较差的技术可能带来更多破坏性效果。

(2)组织因素。宏观层面主要有国家组织保障体系和人才培养体系,组织保障体系方面,中国、美国、德国等都出台了系列政策来引导和推动工业互联网平台建设,提供扶持、标准、技术、资本、法律等支撑,对驱动工业互联网平台发展起到了关键性作用。存在的问题主要涉及人才、标准、发展模式、资本相关的配套措施不足。知识结构、培养主体、培养理念、学科设置等均难以满足行业人才需求,制约抽象建模、软件开发、数据分析等平台能力(王一晨,2019)<sup>[36]</sup>。评价体系作为破解工业互联网平台在技术体系、发展路径、核心能力、商业模式缺乏共识的关键手段,但目前仍然尚未形成认可度较高的参考性框架。

中观层面则涉及产业联盟、风险资本、企业数字化水平。产业联盟是支撑行业监督、标准制定、成果转化的重要力量,以工业互联网联盟为典型代表的产业联盟是促使美国工业互联网处于领先地位的保障。风险资本是保障工业互联网平台长期建设、改造、人才培养等诸多方面的资金保障,风险资本能够缓解电子商业模式和工业互联网移动应用程序之间的价值保留关系。企业数字化水平是决定企业大规模接入工业互联网平台的条件,当前设备连接能力和异构化现象严重,难以支撑工业数据的全面采集和优化(王一晨,2019)<sup>[36]</sup>,中国制造业总体处于 2.0 向 3.0 过渡阶段,80%的设备没有联网,已经联网设备存在严重的“语言障碍”(刘晶,2018)<sup>[37]</sup>,为此,数据所有权、合作伙伴战略、技术扩散等组织间关系问题地解决是制造企业用户大规模接入工业互联网平台的前提

(Saarikko 等,2017)<sup>[38]</sup>。

现有研究揭示了影响工业互联网平台发展的宏观和中观因素,然而这只是核心企业所嵌入的外部环境要素,主要是触发企业构建或接入工业互联网平台的诱导条件,而影响核心企业成功构建工业互联网平台和其他企业接入意愿的组织制度、管理者个体、内部环境、企业文化等微观因素尚待挖掘。

(3)环境因素。主要有三类:国内环境要素主要指行业发展机遇,如中国2018年开始实施的新基建计划,包括5G基站建设、大数据中心、人工智能、工业互联网等七大领域。正是这一国家战略带来的发展机遇将推动工业互联网平台快速成长。国际环境要素则是通过交流合作借鉴国际先进工业互联网企业经验,与工业互联网联盟、国际电信联盟等国际标准化组织合作制定标准,在技术、人才、架构等领域全方位融入世界工业互联网“朋友圈”。企业发展环境是充分运用行业重点企业的技术、基础设施、人才等优势,快速形成以核心技术为重点的突破,驱动工业互联网平台全面发展。

### 3. 工业互联网平台成长趋势

结合演化进程与驱动因素,本文构建工业互联网平台演化成长的驱动因素与趋势理论框架,如图4所示。结合该框架,可知驱动工业互联网平台演化的复杂因素之间可能存在多种组合条件,这意味着工业互联网平台可能走向差异化的成长道路。基于海尔等企业的产业实践和中国政府出台的工业互联网发展政策文件,以及平台的构成属性和功能属性,工业互联网平台可能有以下成长路径:一是政府主导型,政府采用引进方式构建面向地区发展所需的工业互联网平台。二是市场主导型,特定区域内已经形成影响力较大的引领型企业,企业基于自身条件,构建面向特定区域、行业或技术的工业互联网平台。三是政府与企业共建型,政府与企业共同注入资源建设工业互联网平台。依据O'Halloran和Kvachko(2015)<sup>[32]</sup>等学者的观点,工业互联网平台最终将从独立分散的形态向互融、互促、共生的联合生态体方向发展,需要从生态化治理、主体间交互赋能、组织平台化机制等方面深度揭示这一演化规律。

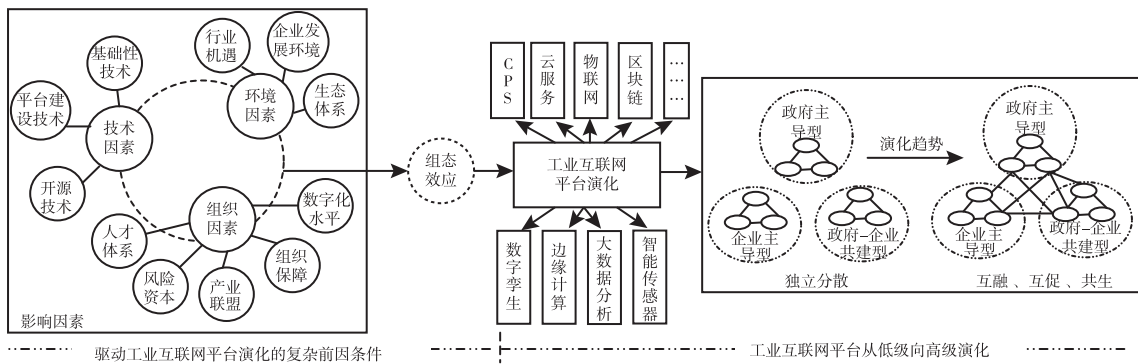


图4 工业互联网平台演化成长的驱动因素与趋势

注:组态效应是本文提出的未来研究方向

资料来源:作者整理

## 六、工业互联网平台的赋能机理

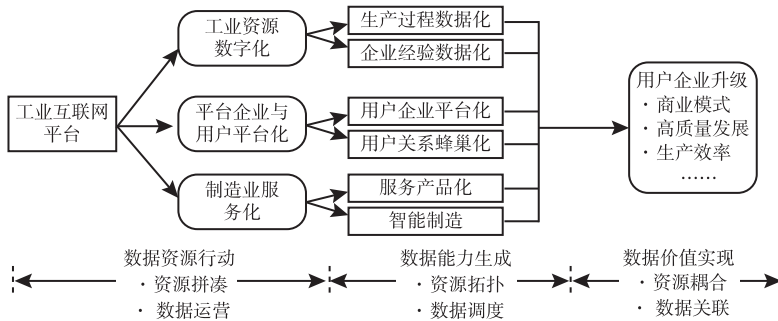
### 1. 工业互联网平台赋能

赋能的本质是个体或组织对客观环境与条件拥有更强的控制能力来取代无力感的过程。赋能有结构、资源和数据层面的组织赋能,心理、顾客和领导层面的个体赋能。工业互联网平台赋能在相关研究中常被提及,但至今尚未被界定。综合来看,工业互联网平台赋能主要体现在三个方面:

一是促进平台资源数字化、模型化。通过传感器、物联网、云计算、大数据等技术将“人、机、料、法、环”等工业资源全面数字化和模型化。二是提升平台资源拼凑、拓扑与耦合能力。平台资源的数字化和模型化,促使平台能够将异质分布的知识、经验、信息、产品等线上、线下资源再次进行整合与重构,这种资源固有属性的打破,可实现高效拼凑。平台开源和数据驱动下的自适应、自组织特性,刺激更多的潜在资源向平台汇聚,推动合作资源拓扑,相应的平台用户异质性需求也在数据交互中实现耦合。三是增强平台治理数字化能力。平台数据治理系统可对资源进行实时动态智能监控、反馈,资源之间可以进行精准地交互匹配和动态协同,进而促使数据业态边界渗透能力不断提升,体现为平台在数据的运营、调度方面的数字化治理能力。基于此,本文提出工业互联网平台赋能是指以新一代信息技术将工业场景资源全面数字化、模型化,促进异质分布数据资源的深度整合、优化与重构,驱动平台和用户生成个性化数据能力以释放数据价值。

## 2. 工业互联网平台赋能逻辑

工业互联网平台的赋能逻辑如图5所示,一是将工业资源数字化,促使生产过程数据化和生产经验数据化,形成虚拟化的生产过程并将抽象、模糊的企业经验转化为直观、可复制的具象化数据。二是推动平台企业和用户企业平台化,以数字化方式对用户企业进行立体化连接形成蜂巢结构,用户企业转换成模块化的平台企业并与其他用户形成松散关系,增强用户企业应对不确定性市场的灵活性。三是以数字化和平台化为基础,整体提升用户均衡个性化制造与大规模生产的能力,实现智能制造和服务产品化。最终,在数字化、平台化、制造业服务化驱动下,企业实现转型升级(蔡呈伟和戚聿东,2021)<sup>[39]</sup>。这一过程的赋能逻辑如下:围绕特定的应用场景对不同类型的资源进行针对性的数据资源行动,通过对数据资源的再整合、优化与重构驱动平台用户形成数据生产能力,最终推动企业在生产效率等方面升级。



资料来源:综合蔡呈伟和戚聿东(2021)<sup>[39]</sup>、孙新波等(2022)<sup>[27]</sup>整理

## 3. 工业互联网平台赋能方向及结果

工业互联网平台赋能结果的观点受到国家战略的影响而有所差异。国内学者基于中国制造2025战略背景,将工业互联网平台赋能结果着力在制造业高质量发展、价值共创、制造业服务化方面;德国和美国学者则基于工业4.0、先进制造业伙伴计划战略背景,聚集在商业模式创新、智能制造、制造业服务化方面。关键词分析结果也聚焦上述五方面结果。

(1)赋能高质量发展。工业互联网平台作为一种新型劳动资料,具有促进新劳动分工、新生产过程和新制度的作用,直接驱动产业和企业层面的高质量发展。对民营企业而言,工业互联网平台的赋能过程包括降低获得价值链、产业链、要素链等信息搜寻成本,降低人工、程序性环节等要素成本,促进互补、竞合的产业协同体系,在数据挖掘和数据驱动中推动智能制造和个性化生产,打破数据孤立状态并赶超先进行业与企业(任力,2020)<sup>[40]</sup>。然而,上述结论主要建立在规范性描述基础上,经验证据缺失。部分学者以美的集团为案例,发现工业互联网平台是实现大规模制造到智能制

造能力跨越的关键(肖静华等,2021)<sup>[41]</sup>。从共享制造的角度看,工业互联网平台带来的网络化和数字化变革改变了制造业生产函数(Jiang和Li,2020)<sup>[42]</sup>,有形资产的数字化实现了数据与资产之间的映射,降低信息不对称性和促进供需匹配,数字化也在激活闲置资产的同时提升资产的流动性、灵活性和高效连接,提升企业生产效率和供应能力精准性(Hozdić,2015)<sup>[43]</sup>。由工业互联网平台实现的数字化建模,促使企业可以将生产线进行数字化和模块化改造,制造业得以实现柔性化、个性化、网络化、大规模定制生产,企业间的分工协作能力显著提升。此外,工业互联网平台支撑的数字经济网络效应和边际成本递减效应促使制造企业之间形成共享生态,进一步促使数据成为边际非稀缺资源和网络价值的平方级提升,企业在竞争力等高质量发展维度方面显著增强(Parker等,2016)<sup>[44]</sup>。上述基于案例的研究虽然解决了规范性描述所得结论的可靠性问题,但均以少数大型成功企业为案例,失败案例和中小型企业鲜有涉及,这可能掩盖工业互联网平台的潜在负面效果,无法全景展现工业互联网平台与企业高质量发展间的关系。

(2)赋能价值共创。此类研究十分稀缺,价值共创是服务提供者与消费者在直接交互中的联合行动。相较于消费互联网价值共创模式,制造业领域延伸这一概念出现了共享产能、共享生产设备、工业物流服务平台、生产设备健康服务平台等工业用户价值共创模式,然而流量优势的消解和数字化转型的极大成本劣势导致工业互联网价值共创效应低迷。为此,马永开等(2020)<sup>[6]</sup>结合共同生产和使用价值两个概念提出了“联结”“联动”“联体”的工业互联网沿着“交易驱动→业务驱动→数据驱动”演化的三联价值共创模式,联结模式以物联网技术将制造商、零售商、顾客、供应商等利益相关方联结,形成初级工业互联网赋能平台;联动模式是以老用户“桥接”新用户来扩张工业互联网平台赋能效应;联体模式则是工业互联网平台形成了自循环、自组织的价值共创联合生态体。向坤和杨庆育(2020)<sup>[45]</sup>发现工业互联网平台在协同型共享、共创型共享、交易中中介型共享制造中发挥了关键性的制造能力数字化,制造资源赋能作用。由交流互动、资源共享、共同生产三维度构成的工业互联网平台能够显著促进包含物质价值和精神价值的价值共创(魏津瑜和李翔,2020)<sup>[46]</sup>。总体而言,现有研究停留在理论探讨层面,并将消费互联网的价值共创理论延伸至产业互联网,可能存在误解工业互联网平台的真实实践问题,如智能设备之间、工厂之间、人与机器或数据、数据之间均存在一定的价值共创关系,从企业与消费者互动发展而来的理论缺乏解释力。

(3)赋能商业模式创新。此议题受到学术界的广泛关注,这与数字经济驱动下的企业转型有关。商业模式是能够降低交易成本,提高交易效率的创造性活动,由价值主张、价值创造和价值获取构成(Martins等,2015)<sup>[47]</sup>。工业互联网平台赋能商业模式创新的路径主要有:一是将物联网和网络物理系统这两个虚拟和物理世界融入工业流程,深刻改变了价值获取、价值创造、工作设计和服务导向(Dijkman等,2015)<sup>[48]</sup>,以海尔为案例,发现相比传统商业模式,基于工业互联网平台的商业模式出现了多元化价值主张,特别是客户的个性化价值主张得到满足,实现了批量定制化生产和供应商全面伙伴关系网络建构(朱宗乾等,2019)<sup>[49]</sup>,以柯达破产案为例也发现工业互联网平台的互联特性创造了伙伴关系发展需求,为创造性的解决方案提供基础(Saarikko等,2017)<sup>[38]</sup>。表明工业互联网平台实现了工业流程数据与消费互联网数据互通,进而驱动定制化生产,但尚不清楚新出现的价值获取、价值创造、价值主张的模式、路径、类别是什么,对核心企业和关联企业产生了何种新的影响,需要进行对比研究。二是工业互联网平台本身可以作为一种商业模式,补充现有的产品或服务开发模式(Burmeister等,2016)<sup>[50]</sup>,如将物理资产服务系统作为支持共享方法的新商业模式引入实物资产管理和服务共享,产品服务系统也可以增强商业模式(de Senzi Zancul等,2016)<sup>[51]</sup>,这一路径表明技术革新也是一种重要的商业模式,但尚未有明确的经验证据和理论体系。三是驱动智能制造直接改变或扩展商业模式组件或构造块(Abbate等,2019)<sup>[52]</sup>,由此形成的

工艺和产品数字化将改变现有的价值主张、业务流程、客户关系和内部基础设施管理方法,以 76 家德国制造企业工业互联网驱动制造业商业模式变革的研究证实了上述观点(Kiel 等,2017)<sup>[53]</sup>,此种赋能机制的逻辑是创造更好产品是企业商业模式变革的焦点,与路径二具有一定的相似性,区别在于将工业互联网技术嵌入现有商业模式中,但嵌入方式、路径、时机、效果等均有待探究。上述三条路径可概括为改变与用户的互动模式、颠覆有形资产和无形资产管理方法、创新生产工艺。然而,上述研究仍未脱离消费互联网情境下的商业模式逻辑,消费者数据只是构成工业互联网平台数据源之一,在面向工业物理界的对象、角色、流程和应用场景的复杂情境中,可能会出现截然不同的新商业模式。

(4) 赋能制造业服务化。制造业服务化是制造与服务的融合,围绕制造企业、服务企业和终端用户之间产品和服务形成的制造服务化,本质是制造企业价值链由产品主导逻辑转向服务主导逻辑,提升制造企业对需求端变化的适应能力(Benedettini 等,2015)<sup>[54]</sup>。现有研究认为中国制造业仍然面临着低端锁定、价值创造能力弱、跨领域价值共创难的困境,表现为个性化定制、专业化服务和综合性解决方案等高附加值服务供给不足。工业互联网平台以新型价值交换逻辑赋能制造业服务模式创新,主要体现在:一是基于制造企业云化服务,可实现能力交易导向型和集成应用导向型服务化模式,前者将分散闲置的服务化能力和资源贯穿制造业服务价值创造的所有环节;后者依托深度数据集成和建模分析能力,提升不同主体、系统之间的高效集成和供需无缝衔接。二是基于工业互联网平台知识库创新跨组织知识协同模式,包括知识交易导向型和知识创新引领型服务化模式,运用工业互联网平台提炼和封装自身工业经验知识来满足价值网络内用户特殊需求(唐国锋和李丹,2020)<sup>[29]</sup>。工业互联网平台不仅是技术体系的集成,也是行业经验知识的集成,将难以模仿、复制的行业经验进行系统化后共享。仿真分析结果表明在工业互联网平台支撑下,制造企业实现了技术适应性赋能和演化适应性赋能,最终实现了产品服务化和用户服务化(刘祎,2021)<sup>[55]</sup>。此外,也有学者从算法技术角度提出新的人工蜂群算法来解决物流感知的制造服务协作优化问题(Wang 等,2019)<sup>[31]</sup>。上述研究聚焦核心企业构建工业互联网平台赋能制造业服务化的算法技术与数据集成能力,以及潜在应用价值,然而,制造业服务化面向对象是数量庞大的中小微企业,它们对工业互联网平台的采纳意愿关系着制造业服务化应用效果,这需要重点讨论中小微企业所有者、组织方面特质及其采纳工业互联网平台的阶段性演变路径与机理。

(5) 赋能智能制造。智能制造是能够实时响应工厂、供应网络 and 客户需求变化的全集成协同制造系统。云计算、大数据和工业互联网等技术伴随着智能制造需求出现,其目的是通过设备与周围其他资产及其流程的连接来创建协作交互的生产机器(Kang 等,2016)<sup>[56]</sup>。这意味着工业互联网平台具有智能改造能力,可驱动制造业从传统制造转向智能制造,智能改造(smart retrofitting)是将新技术和传感器集成到传统系统中,支持向智能制造过渡(Jaspert 等,2021)<sup>[57]</sup>。然而,制造企业却面临资源有限、高度复杂性、多元化需求和文化约束困境,表现为经济、人才和内部专门技术不足(Hegeds 等,2019)<sup>[58]</sup>;现有设备和系统之间高度异化且没有标准一致的通信协议;较难快速识别、适应和回应客户、业务伙伴和供应商的需求(Givehchi 等,2017)<sup>[59]</sup>;文化约束则是员工低估数字化的潜在优势(Lucke 等,2019)<sup>[60]</sup>。作为设置信息资源分离与密度、数字物化、集成与服务系统、模块交易与服务的工业互联网平台可以创建一个连接人、物、数据和流程的全球网络(Whitmore 等,2015)<sup>[19]</sup>。为此,现有研究主要从 CPS、云制造、大数据分析、物联网、智能传感器、数字孪生等技术角度分析工业互联网平台赋能智能制造的机理(Kang 等,2016)<sup>[56]</sup>,如融合了云服务、大数据、物联网等技术的 CPS 具有信息数字化、数据增值化、资源调整、资源整合、智能分析五方面能力,能够将工业设备数字化并转到网络空间,再通过边缘计算精准分析数据,结合数据分析结果优化整合价值网络资源,并推动知识资源可视化(Niggemann 等,2015)<sup>[61]</sup>。数字孪生促进智能工厂实现虚实融合、交互和闭环迭代优化,提升了大数据学习与分析效果(Wang 和 Luo,2021)<sup>[62]</sup>。可见,工业互联



网平台赋能智能制造的路径是以特定的智能技术将工业设备数字化,并加速工业数据之间的联动和流动,以精准的数据模型驱动生产制造过程迭代优化,建立起高效的数据“采集—分析—建模—决策”互联体系,实现以数据为核心要素驱动的智能制造体系。但上述研究却忽视了驱动数据生产要素价值最大化相适配的管理体系,如智慧组织的变革机制、组织平台化或生态化机制等。

虽然国内外学者以零散方式探讨了工业互联网平台对五个结果的赋能机理,但尚未阐释它们之间的逻辑关系,本文遵循“数据资源行动—数据能力生成—数据价值实现”逻辑构建赋能机理框架,如图6所示。首先,工业互联网平台将工业资源数字化和模型化,推动企业制造过程实现虚实融合以及闭环交互迭代优化,实现智能制造。数字化和模型化架构起平台和用户之间的数字化泛在连接“桥梁”,推动平台各方主体形成数据化生态体,生态体内的蜂巢关系可帮助各主体实现能力交易、集成应用、用户和产品服务化,实现价值共创、制造业服务化。其次,价值共创、制造业服务化、智能制造驱动用户企业模块化、工业流程虚拟化、自有APP开发等,最终生成数据能力。最后,数据生成能力推动用户企业实现生产过程、产品/服务开发模式、工业和产品数字化方面的创新,并具备个性化定制与大规模制造的平衡能力,企业数据价值的充分激活促进用户企业实现高质量发展或商业模式创新。

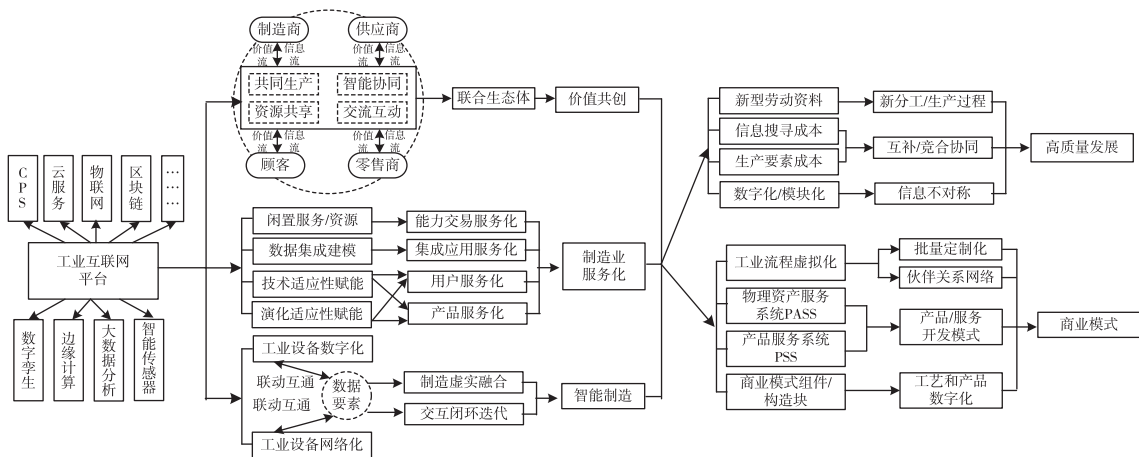


图6 工业互联网平台赋能逻辑框架

资料来源:作者整理

## 七、结论与研究展望

### 1. 研究结论

本文采用关键词共现和社会网络分析方法刻画了工业互联网平台与底层构成技术及其赋能结果之间的关系,得到以下结论:(1)工业互联网平台及其赋能的本质是将工业场景资源全面数字化、模型化,并通过数字化连接物理世界与虚拟世界,促进异质分布数据资源的深度整合、优化与重构,驱动平台和用户生成个性化数据能力以释放数据价值,具有系统性、互动性和个性化特征;(2)工业互联网平台研究的理论视角有组织行为、平台、产业、经济学等,呈现碎片化现象且以成熟理论衍生方式为主;(3)从“IoT→IIoT→IIoT平台”演化过程受到技术、组织和环境三类因素影响,未来可能分化出政府主导型、市场主导型、政府与企业共建型三条成长路径,并将独立分散形态向互融、互促、共生的联合生态体方向发展;(4)工业互联网平台驱动高质量发展、制造业服务化、价值共创、商业模式创新和智能制造,遵循“数据资源行动—数据能力生成—数据价值实现”的赋能逻辑,但赋能过程存在差异,高质量发展侧重生产资料变化对生产过程的影响,价值共创关注



生态体之间的智能协同, 商业模式着眼个性化定制与产品、服务开发模式, 制造业服务化聚焦交易、产品、用户层面的服务集成, 智能制造注重制造设备的虚实融合。

## 2. 研究展望

虽然现阶段研究成果较为丰富, 但仍有诸多研究空间待拓展: (1) 现有研究尚未厘清影响工业互联网平台发展的前因组合, 特别是其他企业接入工业互联网平台的前因组合, 丰富这方面的经验证据对推动工业互联网平台理论和实践的发展均有重要意义; (2) 现有研究聚焦技术赋能, 而与之发展相适应的平台组织管理模式, 如技术与组织功能模块的耦合关系等鲜有涉及, 有碍深度理解技术与组织变革间的协同演化过程; (3) 工业互联网的构建组织和采用组织如何实现平台化落地仍待探索, 回答这一问题有助于从管理视角挖掘特定技术在组织内的平台化过程理论; (4) 在赋能机制方面, 聚焦大企业工业互联网平台对用户的单向赋能过程, 没有涉及用户的反向赋能机制, 不利于破解大企业的“天花板”效应和发挥用户“配套专家”功能; (5) 未提出契合工业互联网平台生态化治理的理论范式, 传统的点对点原子式、传导式线性化、联动型集群式治理范式在平台情境下易出现治理错位与失效(肖红军和李平, 2019)<sup>[63]</sup>。

(1) 驱动工业互联网平台演化的路径组态分析。驱动工业互联网平台演化的因素多且横跨宏观、中观和微观层次, 现有研究主要从增加政策供给、强化基础设施建设、加大人才培养力度、加快“瓶颈”技术突破角度提出促进工业互联网平台发展的策略, 且上述结论来自单个企业案例或国家总体工业互联网发展态势分析, 理论层面难以厘清驱动机制之间的异质性, 实践层面较难找到激活工业互联网平台演化的“发力点”。作为多种条件下的不同组合产生的复杂现象, 促进工业互联网平台演化的驱动条件可能不对称, 需要从整体视角, 采用条件组合的方式进行观察。因此, 未来可采用 QCA(定性比较分析)方法, 结合场景理论、生态理论等, 分析由知识经验、数字基础组成的行业因素, 资源集聚度、产业转型需求组成的区域因素, 工业应用场景技术因素, 以及智慧组织变革能力组织因素等构成的前因条件之间的相互依赖性、组态效应和因果非对称性。如根据组态理论化过程, 可能得到产生高成长演化工业互联网平台的组态条件包括政府主导逻辑下的资源驱动, 政府与企业二元主导逻辑下的创新驱动等多重驱动路径, 进而发现形成行业特色型、区域特色型、特定技术领域专业型等工业互联网平台演化轨迹及其驱动要素条件, 对理论发展和制定有的放矢的管理措施均意义重大。

(2) 工业互联网平台组织的管理模式。从工业经济时代到智能经济时代, 技术变迁始终是促进组织形态演变的根本动力, 智慧型组织正是响应外部环境“颠覆式”变革而形成的自协同、自感知、自优化, 与复杂环境进行动态匹配的组织形态(李海舰和李燕, 2019)<sup>[51]</sup>。工业互联网平台融合了 PCS、IoT、云计算等信息技术, 成为推动企业往智能组织演化的关键因素, 现有研究表明工业互联网平台促使企业实现了工业设备数字化、智能化、网络化, 演化为虚实融合的智能工厂, 但存在过度关注技术本身且方向单一问题, 鲜少涉及影响企业智慧组织形成机理。而新工业革命背景下的智慧组织演化呈现出反集权、反边界、反分工、反范式特征(王易和邱国栋, 2020)<sup>[28]</sup>, 平台化和模块化成为主要形态。为此, 未来可从“反管理”哲学思想角度进一步探究核心企业衍生发展工业互联网平台的管理机制, 技术模块与组织模块之间的耦合关系, 如技术模块与组织部门功能模块, 工业互联网平台与“四反”之间的互嵌支撑关系, 如对组织“权力链条”的垂直“剪断”与水平“赋能”, 可进一步增强对技术变革与组织模式更迭之间的自发现与反发现机理的理解和发展相关理论。

(3) 组织的工业互联网平台化机制。平台化是一个综合性的过程, 涉及结构、能力、文化、关系等诸多方面, 工业互联网平台化是促进工业互联网落地和发挥赋能效应的关键环节。针对这一议题, 一方面, 应以工业互联网平台构建组织为对象, 研究主导企业的行业影响力、资源集聚能力、前

沿技术水平、管理者特质、智慧组织变革能力等相关因素在工业互联网平台研发设计、技术架构整合等方面实现组织内平台化过程,以及政府规制、企业应用场景、企业文化等中介或调节变量在这一关系中的干预作用。另一方面,应以工业互联网平台采用组织为对象,基于“过程—结果”关系探究采用者在意图、采用、实施和使用工业互联网平台过程中的决定性因素,可能包括管理者个体特质、知识经验、创业取向、技术安全与隐私、技术有用与兼容性、政府规制、伙伴网络、竞争压力、组织创业导向、组织文化等影响因素,主导企业可在解决每个阶段采用组织问题的过程中,逐步推动工业互联网平台化。

(4)工业互联网平台与接入主体之间的交互赋能机制。现有研究聚焦工业互联网平台对高质量发展、价值共创、商业模式、智能制造等方面的单方向赋能,且主要关注算法模型、技术系统和软件应用开发。而要实现“建平台”和“用平台”双轮驱动,一方面要关注龙头企业在核心技术领域的“单兵突破”能力,进一步“壮大”其引领和辐射带动能力;另一方面也要关注中小微企业等平台接入主体在核心技术协同和外围技术领域的组团“齐步走”能力,在“扶小”的过程中拓展工业互联网平台赋能的“天花板”。为此,未来可结合赋能理论、共生理论、融合理论等重点研究工业互联网平台与中小微企业等之间的交互赋能机制,如工业互联网平台产生的“黑洞效应”吸引中小微企业连入智能生态体,形成工业互联网平台生态圈,可对中小微企业的组织、个体、场域、结构方面产生赋能效应,最终对组织绩效、组织变革产生影响。另一方面,中小微企业也可以将自身知识、技术、资源等注入工业互联网平台,实现反向赋能、协同演化和共生发展。此外,交互赋能研究以案例研究为主,国外综述性文献也提出同样的观点,如工业互联网平台与商业模式创新的研究主要以定性研究为主,实证研究欠缺,工业互联网与智能制造主要以单案例或定性为主要方法,具体来看,主要关注海尔、通用电气、美的等龙头企业。故未来需要从实证角度增强工业互联网平台赋能机理理论建构,发展和验证定性研究理论。

(5)工业互联网平台生态化治理机制。生态化治理是实现互治共荣、互惠共生、互动共演,保障工业互联网平台健康和可持续发展的关键治理机制。然而,实际过程中可能出现社会责任缺失与异化行为频显问题,特别是由技术的高差异化和个性化,极易形成以核心企业为主导的寡头垄断格局。未来需要探究工业互联网平台生态化治理的内容边界(如技术边界、行业边界、知识边界、区域边界、产业边界、功能边界、责任边界、安全边界等)、网络化共治、跨生态位互治、扩展生态位与主要生态位间(如治理角色分配、共治权力配置与利益分配、信任机制、共生界面管理等)的共演机制等问题,进而探讨核心型成员(最高生态位)、主宰型成员(中间生态位)、缝隙型成员(底层生态位)在工业互联网平台生态化治理过程中的互治、互动关系和模式等,及其共同构建的生态治理界面从低级向高级的演化规律,为构建工业互联网平台生态化治理新范式理论,指导核心企业开展工业互联网平台生态化治理提供理论与经验。

## 参考文献

- [1]文晓. 海尔 COSMOPlat:工业互联网平台助力疫情防控[J]. 北京:自动化博览,2020,(3):30-31.
- [2]武汉大学工业互联网研究课题组.“十四五”时期工业互联网高质量发展的战略思考[J]. 北京:中国软科学,2020,(5):1-9.
- [3]Guth, J., U. Breitenbücher, and M. Falkenthal. A Detailed Analysis of IoT Platform Architectures: Concepts, Similarities, and Differences[A]. In: Di Martino B., Li KC., Yang L., Esposito A. (eds) Internet of Everything. Internet of Things (Technology, Communications and Computing)[C]. Singapore:Springer,2018.
- [4]左文明,丘心心. 工业互联网产业集群生态系统构建——基于文本挖掘的质性研究[J]. 武汉:科技进步与对策,2022,(5):83-93.
- [5]李海舰,李燕. 企业组织形态演进研究——从工业经济时代到智能经济时代[J]. 北京:经济管理,2019,(10):22-36.
- [6]马永开,李仕明,潘景铭. 工业互联网之价值共创模式[J]. 北京:管理世界,2020,(8):211-222.

- [7] 谢卫红, 骆建彬, 郭海珍, 李忠顺, 张茜. 工业互联网平台研究知识结构与拓展方向[J]. 武汉: 科技进步与对策, 2021, (22): 151 - 160.
- [8] Li, B., L. Zhang, and S. Wang. Cloud Manufacturing: A New Service-oriented Networked Manufacturing Model[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2010, 16, (1): 1 - 7.
- [9] Wollschlaeger, M., T. Sauter, and J. Jasperneite. The Future of Industrial Communication: Automation Networks in the Era of the Internet of Things and Industry 4.0[J]. IEEE Industrial Electronics Magazine, 2017, 11, (1): 17 - 27.
- [10] 李广乾. 工业互联网平台, 制造业下一个主攻方向[J]. 北京: 中国信息化, 2016, (12): 11 - 14.
- [11] 权锡鉴, 史晓洁, 宋晓滨, 王苑琢, 王竹泉. 资本配置结构优化的企业混合所有制: 工业互联网平台的赋能机理与本质[J]. 北京: 会计研究, 2020, (12): 99 - 112.
- [12] Mayer, S., J. Hodges, and D. Yu. An Open Semantic Framework for the Industrial Internet of Things[J]. IEEE Intelligent Systems, 2017, 32, (1): 96 - 101.
- [13] 王峰. 工业互联网平台分类研究[J]. 北京: 电信技术, 2017, (10): 8 - 11.
- [14] 王玮, 杜书升, 曹溪. 工业互联网引发的“颠覆式”管理变革[J]. 北京: 清华管理评论, 2019, (3): 62 - 72.
- [15] 王如玉, 梁琦, 李广乾. 虚拟集聚: 新一代信息技术与实体经济深度融合的空间组织新形态[J]. 北京: 管理世界, 2018, (2): 13 - 21.
- [16] Wang, J., C. Xu, and J. Zhang. A Collaborative Architecture of the Industrial Internet Platform for Manufacturing Systems[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2020, 61, (2): 101854.
- [17] Evans, P. C., and M. Annunziata. Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines[R]. Boston: General Electric Company, 2012.
- [18] Schuh, G., R. Anderl, and J. Gausemeier. Industry 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies[M]. Munich: Herbert Utz, 2017.
- [19] Whitmore, A., A. Agarwal, and L. D. Xu. The Internet of Things—A Survey of Topics and Trends[J]. Information Systems Frontiers, 2015, 17, (2): 261 - 274.
- [20] 杜传忠, 金文翰. 美国工业互联网发展经验及其对中国的借鉴[J]. 北京: 太平洋学报, 2020, (7): 80 - 93.
- [21] 吕铁, 韩娜. 智能制造: 全球趋势与中国战略[J]. 北京: 人民论坛·学术前沿, 2015, (11): 6 - 17.
- [22] Porter, M. E., and J. E. Heppelmann. How Smart, Connected Products are Transforming Competition[J]. Harvard Business Review, 2014, 92, (11): 64 - 88.
- [23] Xu, X. From Cloud Computing to Cloud Manufacturing[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2012, 28, (1): 75 - 86.
- [24] 朱国军, 王修齐, 孙军. 工业互联网平台企业成长演化机理——交互赋能视域下双案例研究[J]. 武汉: 科技进步与对策, 2020, (24): 108 - 115.
- [25] Atzori, L., A. Iera, and G. Morabito. The Internet of Things: A Survey[J]. Computer Networks, 2010, 54, (15): 2787 - 2805.
- [26] Ngai, E., K. K. Moon, and F. J. Riggins. RFID Research: An Academic Literature Review (1995 - 2005) and Future Research Directions[J]. International Journal of Production Economics, 2008, 112, (2): 510 - 520.
- [27] 孙新波, 张明超, 王永霞. 工业互联网平台赋能促进数据化商业生态系统构建机理案例研究[J]. 北京: 管理评论, 2022, (1): 322 - 337.
- [28] 王易, 邱国栋. 新工业革命背景下多元智能组织研究——以 GE 和海尔为案例[J]. 北京: 经济管理, 2020, (2): 92 - 105.
- [29] 唐国锋, 李丹. 工业互联网背景下制造业服务化价值创造体系重构研究[J]. 长春: 经济纵横, 2020, (8): 61 - 68.
- [30] Xu, L. D., E. L. Xu, and L. Li. Industry 4.0: State of the Art and Future Trends[J]. International Journal of Production Research, 2018, 56, (8): 2941 - 2962.
- [31] Wang, Y., Y. Zhang, and F. Tao. Logistics-Aware Manufacturing Service Collaboration Optimisation Towards Industrial Internet Platform[J]. International Journal of Production Research, 2019, 57, (12): 4007 - 4026.
- [32] O'Halloran, D., and E. Kvochko. Industrial Internet of Things: Unleashing the Potential of Connected Products and Services[R]. Switzerland: Davos-Klosters, 2015.
- [33] 李君, 邱君降. 工业互联网平台的演进路径、核心能力建设及应用推广[J]. 广州: 科技管理研究, 2019, (13): 182 - 186.
- [34] 吕铁. 我国工业互联网产业的变革路径探究——从平台系统架构视角出发[J]. 北京: 人民论坛·学术前沿, 2020, (13): 14 - 22.
- [35] 王君泽, 宋小炯, 杜洪涛. 基于解释结构模型的我国工业互联网实施影响因素研究[J]. 北京: 中国软科学, 2020, (6): 30 - 41.
- [36] 王一晨. 运用工业互联网推动中国制造业转型升级[J]. 郑州: 中州学刊, 2019, (4): 26 - 30.
- [37] 刘晶. 5G 赋能工业互联网[N]. 中国电子报, 2018 - 11 - 13.
- [38] Saarikko, T., U. H. Westergren, and T. Blomquist. The Internet of Things: Are You Ready for What's Coming? [J]. Business

Horizons,2017,60,(5):667-676.

- [39]蔡呈伟,臧韦东.工业互联网对中国制造业的赋能路径研究[J].石家庄:当代经济管理,2021,(12):40-48.
- [40]任力.以工业互联网推进民营企业高质量发展[J].北京:人民论坛·学术前沿,2020,(13):52-59.
- [41]肖静华,吴小龙,谢康,吴瑶.信息技术驱动中国制造转型升级——美的智能制造跨越式战略变革纵向案例研究[J].北京:管理世界,2021,(3):161-179.
- [42]Jiang,P.,and P.Li.A New Production Node for Social Manufacturing in the Context of Sharing Economy[A].Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B[J].Journal of Engineering Manufacture,2020,234,(1-2):285-294.
- [43]Hozdić,E.Smart Factory for Industry 4.0:A Review[J].International Journal of Modern Manufacturing Technologies,2015,7,(1):28-35.
- [44]Parker,G.G.,M.W.Van Alstyne,and S.P.Choudary.Revolution:How Networked Markets are Transforming the Economy and How to Make Them Work for You[M].New York:W.W.Norton & Company,2016.
- [45]向坤,杨庆育.共享制造的驱动要素、制约因素和推动策略研究[J].北京:宏观经济研究,2020,(11):65-75.
- [46]魏津瑜,李翔.基于工业互联网平台的装备制造企业价值共创机理研究[J].呼和浩特:科学管理研究,2020,(1):106-112.
- [47]Martins,L.L.,V.P.Rindova,and B.E.Greenbaum.Unlocking the Hidden Value of Concepts:A Cognitive Approach to Business Model Innovation[J].Strategic Entrepreneurship Journal,2015,9,(1):99-117.
- [48]Dijkman,R.M.,B.Sprenkels,and T.Peeters.Business Models for the Internet of Things[J].International Journal of Information Management,2015,35,(6):672-678.
- [49]朱宗乾,尚晏莹,张若晨.基于工业互联网的制造企业商业模式:如何从无到有?——以海尔为例[J].广州:科技管理研究,2019,(10):223-232.
- [50]Burmeister,C.,D.Lüttgens,and F.T.Piller.Business Model Innovation for Industrie 4.0:Why the“Industrial Internet”Mandates a New Perspective on Innovation[J].Die Unternehmung,2016,70,(2):124-152.
- [51]de Senzi Zancul,E.,S.M.Takey,and A.P.B.Barquet.Business Process Support for IoT Based Product-Service Systems (PSS)[J].Business Process Management Journal,2016,22,(2):305-323.
- [52]Abbate,T.,F.Cesaroni,and M.C.Cinici.Business Models for Developing Smart Cities.A Fuzzy Set Qualitative Comparative Analysis of an IoT Platform[J].Technological Forecasting and Social Change,2019,142,(5):183-193.
- [53]Kiel,D.,C.Arnold,and K.Voigt.The influence of the Industrial Internet of Things on Business Models of Established Manufacturing Companies-A Business Level Perspective[J].Technovation,2017,68,(12):4-19.
- [54]Benedettini,O.,A.Neely,and M.Swink.Why do Servitized Firms Fail?A Risk-Based Explanation[J].International Journal of Operations & Production Management,2015,35,(6):946-979.
- [55]刘祎.工业互联网平台情境下制造业企业服务化的适应性机制——基于系统动力学的仿真[J].石家庄:当代经济管理,2021,(9):29-39.
- [56]Kang,H.S.,J.Y.Lee,and S.S.Choi.Smart Manufacturing:Past Research,Present Findings,and Future Directions[J].International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology,2016,3,(1):111-128.
- [57]Jaspert,D.,M.Ebel,and A.Eckhardt.Smart Retrofitting in Manufacturing:A Systematic Review[J].Journal of Cleaner Production,2021,312,(2):127555.
- [58]Hegeds,C.,A.Frankó,and P.Varga.Asset and Production Tracking through Value Chains for Industry 4.0 Using the Arrowhead Framework[A].IEEE International Conference on Industrial Cyber Physical Systems[C].IEEE,2019.
- [59]Givchchi,O.,K.Landsdorf,and P.Simoens.Interoperability for Industrial Cyber-Physical Systems:An Approach for Legacy Systems[J].IEEE Transactions on Industrial Informatics,2017,13,(6):3370-3378.
- [60]Lucke,D.,P.Einberger,and D.Schel.Implementation of the MIALinx Integration Concept for Future Manufacturing Environments to Enable Retrofitting of Machines[J].Procedia CIRP,2019,79:596-601.
- [61]Niggemann,O.,G.Biswas,and J.S.Kinnebrew.Data-Driven Monitoring of Cyber-Physical Systems Leveraging on Big Data and the Internet-of-Things for Diagnosis and Control[C].Proceedings of the 26th International Workshop on Principles of Diagnosis,2015.
- [62]Wang,P.,and M.Luo.A Digital Twin-Based Big Data Virtual and Real Fusion Learning Reference Framework Supported by Industrial Internet Towards Smart Manufacturing[J].Journal of Manufacturing Systems,2021,58,(1):16-32.
- [63]肖红军,李平.平台型企业社会责任的生态化治理[J].北京:管理世界,2019,(4):120-144.

# Industrial Internet of Things Platform: Connotation, Evolution and Empowerment

CHEN Wu<sup>1,2</sup>, CHEN Jian-an<sup>2</sup>, LI Yan-ping<sup>2</sup>

(1. Business School of Jiangxi Normal University, Nanchang, Jiangxi, 330022, China;

2. Research Center for China Industry-University-Research Institute Collaboration, Wuhan University, Wuhan, Hubei, 430072, China)

**Abstract:** The industrial Internet of things platform (IIoT platform) is becoming a new engine driving the intelligent transformation of enterprises. This paper uses the method of keyword co-occurrence and social network analysis to describe the relationship between the IIoT platform and the underlying technology and its enabling results. The research results are shown that: (1) The essence of the IIoT platform and its enabling is to fully digitize and model industrial scene resources and connect the physical world and the virtual world through digitalization, promote the deep integration, optimization, and reconstruction of heterogeneous distributed data resources, and drive the platform and users to generate personalized data capabilities to release data value. (2) The theoretical perspectives of IIoT platform research include organizational behavior, platform, industry, economics, etc., which are fragmented and mainly derived from mature theories. (3) The evolution process from “IoT→IIoT→IIoT platform” is affected by three factors: technology, organization, and environment. In the future, three growth paths may be divided into government-led, market-led, and government-enterprise co-construction. The IIoT platform will develop from an independent and decentralized form to a joint ecosystem of mutual integration, mutual promotion, and symbiosis. (4) The IIoT platform drives high-quality development, service-oriented manufacturing, value co-creation, business model innovation, and intelligent manufacturing, which follows the empowerment logic of “data resource action - data capability generation - data value realization”. Specifically, high-quality development focuses on the impact of changes in production materials on the production process, value co-creation focuses on intelligent collaboration between ecosystems, business models innovation focus on personalized customization and service development models, service-oriented manufacturing focuses on the integration of services at the transaction, product and user levels, and intelligent manufacturing focuses on the integration of virtual and real manufacturing equipment.

Although the current research is relatively rich, there is still a lot of research space to be expanded; existing research has not yet clarified the combination of antecedents that affect the development of IIoT platforms, especially the combination of antecedents of other companies' access to IIoT platforms. Scholars have not yet proposed a platform organization and management model that is compatible with the development of IIoT platforms, which hinders a deep understanding of the co-evolution process between technology and organizational change. How the construction organization and adoption organization of the industrial Internet can make it a platform is still to be explored. In terms of empowering mechanism, there is no reverse enabling mechanism involving participants, which is not conducive to cracking the ceiling effect of large enterprises and giving full play to the functions of participants as supporting experts. Academics have not proposed a theoretical paradigm that fits the ecological governance of IIoT platforms.

Therefore, this paper proposes the following research topics: (1) By identifying the different configuration conditions among the four factors of industry, region, technology, and organization, we may find the construction elements for the formation of industry-specific, regional-specific, and specialized IIoT platforms in specific technical fields. (2) From the perspective of anti-management philosophy, explore the management mechanism of core enterprises' derivative development of IIoT platforms. (3) Taking the IIoT platform construction organization and adopting organization as the object, study the organizational platformization process of leading enterprises, and explore the decisive factors of the adopters' intention, adoption, implementation and use of the IIoT platform. (4) Employ empirical research methods, to explore the interactive empowerment mechanism between IIoT platforms and SMEs. (5) Explore the content boundary, networked co-governance, cross-niche mutual governance, and co-evolution mechanism of IIoT platform, so as to build a new paradigm theory for the ecological governance of IIoT platform.

**Key Words:** industrial Internet of things platform (IIoT platform); digital and intelligent manufacturing; evolution and empowerment; digital economy

**JEL Classification:** L63, M10, O33

**DOI:**10.19616/j.cnki.bmj.2022.05.011

(责任编辑:闫梅)