

# 工业互联网对产业生态及数字生态影响机制分析

Analysis on the Impact Mechanism of Industrial Internet on Industrial Ecology and Digital Ecology

★杭州和利时自动化有限公司 孙继超, 胡振亚, 姜国岩

**摘要:** 工业互联网作为新型基础设施对我国“十四五”重点发展目标具有重要促进作用。本文综合多种现有理论, 构建了以企业及其产业为中心的产业生态系统分析模型, 包括目标、要素、约束环境、主体及演化机制等; 进一步分析工业互联网实现企业及产业数字化转型的范围、形式及影响机制; 在工业互联网基础上, 提出了数字生态系统相关概念及运行机制; 然后重点分析了工业互联网基础上产业生态与数字生态相互作用机制, 以及对“十四五”规划目标的支撑促进作用。本文以产业生态及数字生态系统模型为切入点, 明确工业互联网作用, 分析其内部运行机制, 以期为推动我国“十四五”规划的稳步实现提供理论参考。

**关键词:** 工业互联网; 产业生态; 数字生态; 可持续发展

**Abstract:** As a new type of infrastructure, industrial Internet plays an important role in promoting the key development goals of the 14th Five-Year Plan. Based on a variety of existing theories, this paper constructs an analysis model of industrial ecosystem with enterprises and their industries as the center, including objectives, factors, constraint environment, subjects and evolution mechanism; Further analyze the scope, form and influence mechanism of industrial Internet to realize enterprise and industry digital transformation; On the basis of industrial Internet, the concept and operation mechanism of digital ecosystem are proposed; Then it focuses on the interaction mechanism between industrial ecology and digital ecology on the basis of industrial Internet, as well as the support and promotion of the 14th Five-Year Plan. This paper takes industrial ecosystem and digital ecosystem model as the breakthrough point, clarifies the role of industrial Internet, analyzes its internal operation mechanism, in order to provide theoretical reference for promoting the steady realization of China's 14th Five-Year Plan.

**Key words:** Industrial internet; Industrial ecology; Digital ecology; Sustainable development

## 1 前言

2021年3月, 十三届全国人大四次会议通过《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》<sup>[1]</sup>, 提出了创新驱动发展、加快发展现代产业体系、加快数字化发展、推动绿色发展、优化区域布局等多项发展目标。我国拥有全面的工业门类并建立起完整制造产业链, 强大的制造业基础是我国保证民生并不断发展的基础。工业互联网作为新型基础设施, 已在各个产业推广建设, 推进我国企业及产业数字化转型升级, 促进实体经济与数字经济协调发展。笔者以产业生态为切入点, 尝试对工业互联网对产业生态、数字生态影响机制进行研究分析。

在研究过程中, 多个学科提供了理论支撑。产业生态学 (Industrial Ecology), 也叫做工业生态学, 是一门为持续发展服务的学科, 是一门研究产业系统和自然生态系统之间的相互作用、相互关系的学科, 其涉及第一、第二和第三产业<sup>[2]</sup>。为避免产生歧义, 本文均采用产业生态学。众多学者已经对产业生态学进行较为系统地论述<sup>[2-4]</sup>。产业生态学理论和实践研究大多关注物质、能量等自然环境提供的生产要素, 而忽略了企业社会环境生产要素 (如资金、人、科技等) 的影响, 以及信息对整个产业生态演化的影响。产业经济学 (Industrial Economics) 以产业为研究对象, 主要包括产业结构、产业组织、产业发展、产业布局和产业政策等<sup>[5]</sup>, 更加关注社会环境生产要素对产业发展的影响。文献[6]将社会-经济-自然作为一个复合生态系统进

行研究,分析其生态特征并提出了衡量该复合系统的三个指标:(1)自然系统的合理性;(2)经济系统的利润;(3)社会系统的效益。文献[7、8]进一步分析社会-经济-自然复合生态系统与可持续发展的关系。文献[9]认为生态系统符合耗散结构以及等级系统理论,为研究生态共性提供了理论依据。

## 2 产业生态系统分析模型

本文结合产业生态学及产业经济学等相关理论,并根据我国产业情况建立了产业生态系统分析模型,如图1所示。

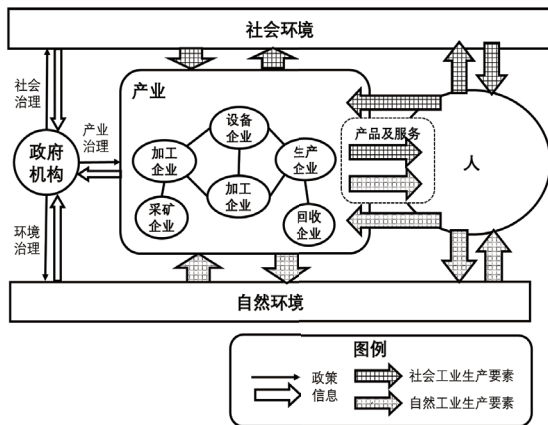


图1 产业生态系统分析模型

### 2.1 产业生态系统目标

根据我国国民经济和社会发展目标,产业生态系统的目标总结为以下四点:

- (1) 提供满足人生产生活及发展需求的产品和服务;
- (2) 稳定提高人的社会生活环境,如养老、医疗、教育、基础设施建设等,保障产业可持续发展的社会生产要素,如人力、资金、科技等资源;
- (3) 改善人的自然生存环境,保障产业可持续发展的自然环境生产要素,如土地、水、空气、矿产等资源;
- (4) 保障人良好的就业生产环境,深化供给侧改革,优化产业结构、能源结构,科技创新提高劳动生产率及全要素生产率。

### 2.2 生产要素

社会环境生产要素包括人力(教育培训、退休养老)、资金(投融资、社会捐赠)、信息(科学技术、

知识产权)等。

自然环境生产要素包括物质(如土地、矿产、水、空气等)、能量(如石油、煤炭、天然气、风能、太阳能等)、信息(如矿藏信息、水文信息、天气信息)等。

### 2.3 约束条件

社会环境为人提供生活环境(教育、养老、医疗、公共交通等),为企业及产业提供社会环境生产要素。社会环境生产要素资源是有限的,企业及产业发展会受到社会环境的约束。社会环境随着内部及外部的因素(如公共卫生、人口结构、贸易环境等)变化而动态变化,同时对入及企业生产消费活动产生影响。

自然环境为人提供生存环境(土地、水、空气等),为企业及产业提供自然环境生产要素。自然环境生产要素资源是有限的,企业及产业发展受到自然环境的制约。自然环境随内部及外部的变化因素(如自然灾害、气候变化、水体污染等)变化而动态变化,同时对入及企业生产消费活动产生影响。

### 2.4 主体

#### (1) 人

人构成产业终端消费市场(含有劳动价值的产品及服务),为产业发展提供劳动力和创造力。人对生产生活、自然环境、社会环境三个方面的需求构成了产业生态发展的目标。人对产业提供的产品及服务以及就业生产环境的需求,随着社会环境、自然环境及自身发展需求的变化而发生变化。

#### (2) 政府机构

政府机构需要进行社会(环境)治理、产业治理及(自然)环境治理,以保证产业生态达成总体目标,并实现产业的可持续发展。

#### (3) 企业

企业以追求利润为目标,从产业生态中其他企业、人、自然环境与社会环境之间获取生产要素,经过生产活动,将附有生产价值的商品或服务提供给下游企业及人组成的消费市场,并将生产过程中形成的新陈代谢产物返回到自然环境、社会环境,进而产生正面或负面的影响。

#### (4) 产业

产业是指在自然环境、社会环境的约束下,在市场机制的驱动下,形成规模化的协作分工,为消费者市场提供某类产品及服务的不同行业企业的总称。

## 2.5 产业链

产业链是产业经济学中的一个概念，是各个产业部门之间基于一定的技术经济关联，并依据特定的逻辑关系和时空布局关系客观形成的网链式关联关系形态。此处分析模型将其概念延伸到人、社会环境及自然环境。产业链的概念类似于自然生态系统中的食物链，体现了生产要素在产业生态中的流动、转化的路径，表现为网链形式。企业处于产业链中的某一生态位，与产业链中其他企业形成共生与竞争关系。

文献[2]根据在自然环境生产要素生态位将企业划分为生产型企业、消费型企业以及分解型企业，如表1所示。

表1 自然环境生产要素划分的企业

企业类型	描述	举例
生产型企业	利用基本环境要素（空气、水、土壤、岩石、矿物质等自然资源）生产初级产品的生产企业。	采矿场、冶炼厂、热电厂以及从事农、林、牧、渔等企业。
消费型企业	将资源生产型企业提供的初级产品加工转换成满足人生产生活必需的产品和服务。	机械制造，服装、电子、化工和食品加工企业等。
分解型企业	对企业产生的副产品、废品以产品报废以及人生产生活过程中产生的垃圾进行合理处置，返回自然环境或转换为可再利用资源。	废品回收公司、资源再生公司等。

同理，企业也可根据产业链中社会环境生产要素生态位进行划分分析。

## 2.6 循环

市场机制为生产要素在人、社会环境、自然环境、企业及产业间流动提供动力，使生产要素在产业链中进行循环，进而形成反馈机制。生产要素循环表现为企业及产业在自然环境及社会环境中的新陈代谢活动。

整个产业生态中，企业自身及各企业间实现与人、自然环境和社会环境之间的生产要素循环；政府机构可根据产业情况、社会环境、自然环境情况制定政策进行社会（环境）治理、产业（结构）治理、自然（环境）治理，实现信息生产要素闭环循环。

## 2.7 演化

生产要素在产业生态中循环形成的反馈机制，包括正反馈及负反馈。负反馈机制使产业生态趋于动态稳定，对一定限度社会、自然环境及人需求变化具有自我

调节能力。正反馈机制使产业结构偏离稳定状态，直到形成新的反馈机制达成新的动态稳定状态，即产业生态发生演化。根据自然及社会环境生产要素形成的市场优势可推动产业生态的演化，如人口红利、改革红利、政策红利、自然资源红利等均可推动产业生态演化。其中科技的进步和创新则作为产业生态演化的底层驱动力，深刻改变产业结构，跨越式提升劳动生产效率和全要素生产率，创造大量的价值及丰厚的利润，如工业革命对产业生态产生的影响。产业生态的演化方向可以是进化也可以是退化，例如，一个国家的产业生态可能由于自然资源优势导致其他产业退化，进而陷入资源陷阱。因此，政府机构需要对社会（环境）、（自然）环境及产业结构进行治理，使产业生态朝着总体目标方向演化。

## 3 工业互联网是产业数字化的基础设施

“数字化”是随着大数据、云计算、人工智能等新一代信息技术的迅猛发展，革命性重塑生产要素、生产力和生产关系的动态化过程。工业互联网是实现企业及产业数字化转型基础设施。工业互联网定义十分宽泛，其覆盖企业及产业，与部分政务网、消费互联网、社会服务网互联网及环境物联网重叠，如图2所示。工业互联网本质上将产业生态系统中的生产要素数字化、生产流程数字化以及经营业务数字化，形成数字生产要素。

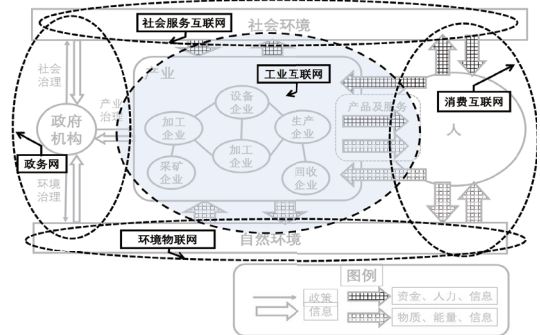


图2 工业互联网在产业生态模型中的范围

### 3.1 工业互联网的形式

根据工业互联网服务的主体及范围的不同，表现出不同的形式。

#### (1) 企业级工业互联网

以企业或集团企业为服务对象，对内提高全生产

要素生产率及生产效率，且满足环保要求，即降本增效、节能环保等；对外保证上游供应，下游销售渠道，并提供产品及数字化服务，激发内部人员技术创新工具。目前此类工业互联网在国内发展较为迅速。

#### (2) 产业园区工业互联网

以产业园区及企业为服务对象，利用企业区域聚集、功能互补优势，打通产业园区内各企业的生产资源要素的利用效率。根据我国各地城镇产业以及工业开发区情况，部分地区开展了生态工业园区尝试<sup>[10]</sup>，配套的产业园区互联网也开始落地应用。

#### (3) 产业互联网

以整个产业及产业链生态位企业为服务对象，包括工业品供销、设备租赁、标识解析、数据交易、工业App交易、知识产权交易、投融资服务等，实现与社会服务互联网、环境物联网及消费互联网进行对接，能够高效配置各产业资源要素，快速响应终端消费需求变化。

#### (4) 政府机构工业互联网

为政府治理服务的省市级工业互联网，构成数字政府的一部分，对辖区内工业产业结构、社会环境及自然环境进行数据信息的收集、分析，为社会治理、产业治理及自然治理提供决策支持并对治理效果进行评估，如工业用电、城市交通、土地资源、能源结构、社会舆情、环境检测等。

### 3.2 工业互联网与其他信息网络的融合

(1) 工业互联网与自然环境物联网深度融合。利用物联网技术，如传感器技术、低功耗技术、电池技术、遥感技术、无人机等技术可实现对自然环境的有效监控，融合工业互联网后，建立产业生态有效的信息反馈机制及监督机制。企业、政府机构、人等产业生态系统主体均可根据自然环境的真实情况调整决策。

(2) 工业互联网与消费互联网深度融合。根据准确的以人为主体的市场需求信息进行柔性大规模定制生产，加快产业生态对应人的需求响应速度，避免因生产过剩或不足导致资源浪费或利润损失；同时能够准确获取人消费后产生的废弃物信息，方便企业资源回收利用或妥善处理，避免造成环境污染及资源浪费。

(3) 工业互联网与社会服务网络深度融合。社会服务网络包括融资服务、教育服务、科研服务、知识产权服务等与工业互联网融合对接，使企业能够以高效且低成本的方式获取社会环境生产要素，从而形成产业生

态与社会发展的良性互动发展。

(4) 工业互联网与政务网的深度融合。政府机构通过产业互联网可及时掌握产业情况，以便制定更加针对性的产业治理、社会治理、自然环境治理等措施，使整个产业生态稳定健康发展。

### 3.3 工业互联网对企业及产业数字化转型机制

工业互联网实现对产业生态中企业的生产要素、生产过程及业务活动等数据的采集并进行数字化形成数字生产要素。这个过程中伴随着新技术应用普及（如物联网、5G技术等）。

工业互联网为产业生态主体之间搭建信息高效流通的渠道，扩大了信息获取的范围，降低信息的流通成本，加快企业及产业对需求响应速度，拓展了企业及产业的供需市场，使产业结构更加紧密，增强了产业生态的自我调节能力。

工业互联网为知识沉淀及流通提供基础，一方面利用平台+App模式，将人头脑中的知识进行流通复用；另一方面，借助大数据、人工智能技术可以有效地从数据及信息中提取知识，进而提供劳动生产率及全要素生产率。

工业互联网利用先进的信息技术为管理决策提供支持，包括机理模型、经验推理及人工智能等，并利用数字孪生技术对决策进行模拟推演，验证决策结果。工业互联网执行决策结果，企业及产业实现生产要素配置、制成产品及提供服务。

## 4 工业互联网平台生态是数字生态的重要一环

数字化转型后的数字企业及数字产业与数字社会、数字环境、数字政府、数字人均以数字化的生产要素进行交换，共同构成数字生态系统。在这个系统中，市场机制为数字生产要素在数字主体及环境中的循环提供了动力，形成数字产业链并形成反馈机制，使系统具有动态稳定或演化特征。本质上，数字生态是产业生态的数字化延伸，数字生态中数字生产要素的价值只有在产业生态中生产要素流通转化形成产品及服务后才能最终体现。由于数字生态可以较全面地反映产业生态，具体实施可视为独立生态系统，方便操作分析。数字生态系统分析模型如图3所示。



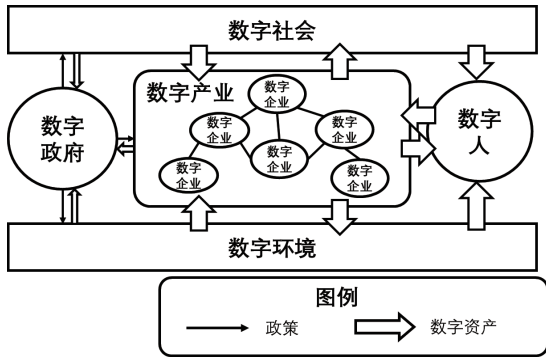


图3 数字生态系统分析模型

数字生态系统相关概念及定义如表2所示。

表2 数字生态分析模型

概念	描述	
目标	同产业生态目标。	
要素	数字生产要素，包括企业及产业数字化升级形成的数字生产要素及衍生的数字生产要素（包括数据资产、机理模型、App等）。	
约束条件主体	数字环境	自然环境数字化形式，自然环境生产要素的数字化表达以及社会数字化服务。
	数字社会	社会环境数字化形式，社会环境生产要素的数字化表达以及自然环境数字化服务。
	数字人	产业生态中人在数字生态中的映射，包括人的需求、技能、创新成果等数字化表达。
	数字政府	数字政府是政府机构在数字生态中的映射，提供政府机构公共数字化服务。
	数字企业	数字化转型升级后的企业以及进行数字生产要素生产及服务的新兴数字企业，提供数字化产品及服务。
	数字产业	由数字企业在市场机制下分工协作组成，对数字生产要素进行规模化加工实现特定产品及服务。
数字产业链	数字产业中，数字企业之间分工协作形成关联关系，体现了数字生产要素直径的流通过程。	
数字生产要素循环	数字生产要素实现在数字生态主体间进行循环，即可以依托于实体产业生态的生产要素，形成反馈机制。	
数字生态演化	数字生态受环境变化、科技进步等扰动因素影响，超出自身调节范围，偏离动态稳定状态并造成结构的改变，直至建立新的负反馈机制，使生态达到新的稳定状态。	

得益于信息技术进步及消费市场形成规模网络效应，数字生态在消费互联网领域取得了巨大的成功，大大改善人类生产生活，促进了数字经济发展。相对产业生态而言，工业互联网生态弥补了数字生态在供给侧方面的不足，实现与其他数字网络生态的融合，进而形成完整的数字生态。

消费领域互联网平台生态理论较为成熟<sup>[11]</sup>，对工业互联网生态建设具有重要的参考意义。另一方面，工业互联网数字生态具有安全要求高、附加值高、准入门槛高、专业性强，以及用户群体规模小且分散等特点，与消费领域互联网数字生态存在较大差异，相应的理论还需进一步研究。

## 5 产业生态与数字生态的作用机制分析

工业互联网生态纵向打通实体企业及产业生态，横向融合了消费互联网生态其他数字化网络，形成更为完整的数字生态。整个数字生态建立在产业生态基础之上，是产业生态在高层演化的稳态形式。数字生态与产业生态之间的作用机制分析如图4所示。

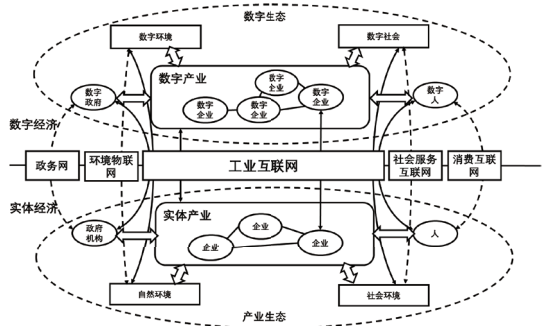


图4 工业互联网在产业生态与数字生态之间的桥梁作用

(1) 工业互联网与其他网络的融合，形成网络及规模效应，数字生态能够从更大范围有效挖掘市场有效需求，以极低的流通交易成本，满足供需双方的需求，使得产业生态生产要素得到有效配置。数字生态中数字生产要素的高效流通循环，带动产业生态能够快速响应需求、自然环境及社会环境带来的变化，并大幅提高单位产能。

(2) 相较于传统的产业生态，数字生态具有科技创新成本低的优势，加之网络融合带来网络效应和规模响应，在市场机制的作用下，科技创新企业或个人将获取丰厚的回报，激发科技创新活力。科技进步和创新即将大幅提高企业及产业的劳动生产率及全要素生产率，使整个生态系统中的生产要素形成有益的正反馈，并达新动态稳定状态，即促成产业生态系统朝着总体目标演化。工业互联网的作用具体表现为以下方面：

· 工业互联网技术降低了人进行科技创新的门槛，并将行业知识进行资产化沉淀复用。

· 工业互联网生态有利于将先进信息技术成果引进生产制造企业,如大数据、人工智能、区块链等极大提高了产业智能化水平。

· 工业互联网为前沿技术成果提供了市场匹配机制及产业成果转化的途径。

(3) 数字生态的形成具有自组织特性,能够对产业生态中产业链进行优化补充,其自我调节特性可应对干扰,维持自身动态稳定,使产业生态具有更高的抗风险能力和自我调节能力。

(4) 基于以上三点,数字生态赋能产业生态形成巨大的市场优势,在市场机制的作用下,原有产业生态中的企业数字化转型升级,催生以数字为生产要素提供数字服务的企业,融合消费互联网生态及其他信息网络,形成新的数字产业链,实现更广泛意义的数字生态。数字生态的建立将产生数字企业并创造新的就业岗位,促进数字经济的发展,进而带动实体经济的发展。

(5) 产业生态与数字生态的建立改变了原有人、企业及产业之间的关系。数字生态使人的劳动成果价值最大化以及企业满足需求的成本最小化的双赢局面成为可能,进而改变人与企业之间的雇佣关系。借助数字生态,企业可提供更好的数字化服务,如快速响应客户柔性制造需求,远程设备维护等服务。数字生态可促成企业、产业与人之间新兴的数字化商业模式。

(6) 政府借助工业互联网组成的数字生态,可以准确把握社会环境、自然环境及产业发展情况,制定政策并进行有效性评估,进而提高社会治理、环境治理及产业结构治理水平,推进整个产业生态向着产业

生态的总体目标演化。

## 6 结论

本文结合多种理论建立了产业生态系统分析模型,并以此为基础对工业互联网实现企业及产业的数字化转型升级机制、数字生态机制、数字生态与产业生态的作用机制进行分析,一定程度上解释了产业生态、数字生态与我国“十四五”规划的发展现代产业体系、加快数字化发展、创新驱动发展、可持续发展等多个目标之间的联系及作用机制。我国具有全面的工业门类、完整的产业链及产业生态优势,对产业生态的构成要素、性质、形成及运行机制进行综合系统的研究有利于实现我国产业总体发展目标。相比较而言,我国的工业互联网基础设施建设和以产业为主的数字生态还处于初级建设阶段,希望本文能够为我国“十四五”规划的顺利落实提供理论参考。 **AP**

### 作者简介:

孙继超(1983-),河北唐山人,高级工程师,现就职于杭州和利时自动化有限公司,从事工业互联网平台及智能工厂相关技术及应用研究工作。

胡振亚(1979-),河南信阳人,中级工程师,现就职于杭州和利时自动化有限公司,从事智能工厂相关应用研究工作。

姜国岩(1987-),吉林吉林人,现就职于杭州和利时自动化有限公司,从事工业自动化、智能化解决方案及相关产品的销售营销工作。

### 参考文献:

- [1] 全国人民代表大会. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要[M]. 北京: 人民出版社, 2021.
- [2] 陆钟武. 工业生态学基础[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [3] 石磊, 陈伟强. 中国产业生态学发展的回顾与展望[J]. 生态学报, 2016, 36(22): 7158-7167.
- [4] 古捷涅夫·弗拉基米尔·弗拉基米洛维奇. 工业生态学[M]. 北京: 中国环境出版社, 2014.
- [5] 苏东水, 苏宗伟. 产业经济学(第五版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2021.
- [6] 马世骏, 王如松. 社会-经济-自然复合生态系统[J]. 生态学报, 1984, (01): 1-9.
- [7] 赵景柱. 社会—经济—自然复合生态系统持续发展评价指标的理论研究[J]. 生态学报, 1995, (03): 327-330.
- [8] 王如松, 欧阳志云. 社会-经济-自然复合生态系统与可持续发展[J]. 中国科学院院刊, 2012, 27(03): 337-345, 403-404, 254.
- [9] 郭建国. 耗散结构、等级系统理论与生态系统[J]. 应用生态学报, 1991, 2(2): 181-186.
- [10] 田金平, 刘巍, 臧娜, 陈吕军. 中国生态工业园区发展现状与展望[J]. 生态学报, 2016, 36(22): 7323-7334.
- [11] 阿姆瑞特·蒂瓦纳. 平台生态系统-架构策划、治理与策略[M]. 北京: 北京大学出版社, 2018.