数智化使能运营管理变革：从供应链到供应链生态系统*

陈　剑　刘运辉

摘要：数字智能技术同时从供给侧和需求侧推动着供应链产生深刻变革，为满足客户越来越升级的个性化需求，企业从提供产品到提供集成式、具有开放扩展功能的数字—服务—产品包。在网络化、动态化、虚实结合的供应链基础上，基于相互交叉、相互补充的供需关系，形成了成员间相互依赖、关联互动、共生共存的供应链生态系统。围绕数智化使能运营管理变革，本文通过梳理供应链管理的发展和演化历程，将供应链生态系统定义为：围绕数字—服务—产品包，由供应链群落的各类主体关联互动而形成的生态系统；随后，从空间视角的拓扑结构、时间视角的动态结构和系统视角的交互结构3个视角提出分析框架；进而，重点考察适应性、涌现性和进化性这3种主要特性；最后，本文指出：供应链生态系统的未来研究应重点关注参与者行为、产品创造策略、竞争模式等方面。

关键词：数智化　供应链　生态系统　群落　进化性
DOI:10.19744/j.cnki.11-1235/f.2021.0180

一、引言

大数据、人工智能、云计算、物联网、边缘计算、区块链等数字智能技术的发展推动了供应链变革。从需求侧来看，随着移动互联网普及和消费习惯的随之改变，消费者越来越希望能够以一站式、无缝衔接的方式满足各种不同类型的需求，通过简单的界面或点击就能完成一系列的消费活动。面对这种多类型、多功能、集成式的需求，单个企业往往难以完全实现。领先企业正在依托移动互联网、云计算等技术，将过去不相关的产品或服务关联起来，形成网络化和动态化的生态圈，创造并满足消费者的集成式需求（陈剑等，2020）。这种集成式、一站式的服务需求，使得供应链成员突破了原来从供应商、制造商到零售商的线性上下游关系，引入了更多的基于集成产品的企业成员，例如智能家居生态系统将家电、卫浴、家具等产品智能化连接，以整体无缝的形式为消费者提供服务，从而拉动了基于数字智能技术的供应链生态系统的形成。从供给侧看，2012年美国通用电气发布首份工业互联网白皮书，2013年德国提出工业4.0战略，2015年中国提出中国制造2025战略，2017年日本提出“互联工业”战略，基于云计算、人工智能、机器人等数字智能技术的智能制造在世界范围内蓬勃发展，全球各行业的企业在智能制造领域不断探索，实现产品、工厂、机器和系统的连接，提取分析应用数据，链接工业生产核心的设备、人与数据，建立数据互换机制。这些新的数字智能技术实时连接物理和数字系统，正在改变制造业和服务业的商业模式和生产经营方式。增材制造、物联网、区块链、先进机器人、人工智能等技术为代表的工业4.0意味着一场以网络物理系统为中心的新型工业革命，建立了物理和数字系统的实时连接，带来新的使能技术改变了企业运营在生产成本、灵活性、响应速度和产品质量等竞争优先级之间的权衡取舍（Olsen and Tomlin，2020）。供应链生态系统的形成，既有了需求侧和供给侧的丰富应用场景，又具备了充分的数字智能技术的支撑。

生态系统的概念最初由Tansley（1935）提出，是指由生物群落、其非生物环境及二者动态相互作用共同组成的综合系统。Tansley指出生态学家需要考虑“整体系统”，包括生物和物理因素，且这些组分不能被割裂或独立对待，生态系统是动态的、相互作用的系统。Lindeman（1942）发表了对位于美国威斯康星州的赛达伯格

*本项研究得到科技创新2030-“新一代人工智能”重大项目（项目号：2020AAA0103801）、清华大学自主科研计划文科专项项目（项目号：2019THZWYY03）、清华大学经济管理学院“影响力”研究基金项目（项目号：2020051006）的资助。刘运辉为本文通讯作者。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

湖的研究论文,这是首次就生态系统概念进行明确应用的经典案例。他将湖泊视为由生物和非生物组分构成的综合系统,构建了水域生态系统的食物网,并根据生物在食物网中的位置对其进行了分组。生态系统作为一个研究单元,尺度可小到池塘、湖泊,大到海洋甚至整个地球生态圈。每个生态系统都包含支持生命所必需的生态群落:生产者、分解者和消费者以及他们所依存的环境。生态系统的概念提出以来,不同时代的学者不断丰富着其理论和实践研究。

为了更好地理解企业在竞争日益激烈的环境中如何形成并保持领先优势,Moore(1993)提出商业生态系统的概念:"与生物学中的生态系统类似,商业生态系统正在从商业元素的随机集合逐渐成长为有组织的共同体",这可以看作是商业生态系统研究的起点。"企业围绕着创新协同进化:企业相互竞争合作支持新产品、满足客户需要,并最终开启下一轮创新"。进一步,Moore(1996)将商业生态系统定义为"基于相互作用的组织和个人的经济共同体,是商业世界的有机体",共同体中的成员朝着共同愿景一致行动,形成相互支持的角色,强调由组织与组织、组织与个体互动所形成的经济联合体中组织或个体间相互依赖的关系特征。Iansiti 和 Levien(2004)将商业生态系统形容为各种不同实体组成的大型、松散连接的商业网络,以复杂的方式交互,公司的健康和绩效取决于系统的整体运行状况和绩效。生态系统成员相互关联,相互影响,其交互既可以是竞争性的,也可以是合作性的,形成了组织之间的共同命运,成员相互依赖,一些公司的失败可能会导致其他公司的失败(Peltoniemi,2006)。

近年来,商业环境的变化越来越复杂,企业无法再依靠独立制定战略生存下去。产品和服务的界限模糊,科技改变了企业服务客户的方式,生态系统日益重要。关注生态系统的战略框架,在于帮助管理者解决五类关键问题(Jacobides,2019):你能帮助其他企业创造价值吗?你该扮演什么角色?加入生态系统的要求是什么?你的机构能随机应变吗?你该管理多少个生态系统?从供应链的视角来看,随着市场竞争越来越复杂激烈,企业不仅仅要关注供应链上下游,更要关注更多的层级,上游需要关注供应商的供应商、三级、四级供应商,甚至更上游的环节,下游需要关注客户的客户,一直到终端消费者。而且不仅仅是关注单一产品或服务的供应链,还要关注周边产品和服务的供应链。传统上相互没有关系的供应链、多级多类合作伙伴和客户形成了供应链生态系统。

数字化是指利用数字技术改变商业模式,提供新的收入和价值创造机会,这是一个向数字业务转移的过程(Gartner,2021)。随着数字化变革的深入,人工智能等智能化技术成为数字化变革的关键部分,企业通过人工智能技术改善客户体验,提高搜索效率,甚至产生新的商业模式,将强大的数字化能力与人工智能技术及前瞻性的人工智能战略结合起来(Reier Forradellas and Garay Gallastegui,2021)。本文将数字化和智能化结合,简称为数智化,以反映数字化和智能化的这种融合趋势。数字智能技术的快速发展,既加速了竞争,又为供应链生态系统提供了强有力的支撑。运营管理的决策问题不仅仅是解决单个供应链上的管理问题,更是在数智化环境中围绕供应链形成的生态系统的问题。

本文将首先从供应链管理的发展历程出发、梳理供应链生态系统的形成过程,给出供应链生态系统的定义;随后,分别从空间、时间和系统3个视角分析其基本结构;进而,考察其适应性、涌现性和进化性等主要特性。最后,总结构建供应链生态系统的基本框架,并从参与者行为、产品创造策略和竞争模式等方面,展望未来的主要研究方向。通过本文的研究,试图从定义、基本结构、主要特性、面临的变化等方面构建数智化环境下供应链生态系统的基本框架,为数智化时代的运营管理变革提供参考。

二、供应链生态系统的形成

(一)供应链管理的发展简述

20世纪70年代以来,随着以丰田生产方式为代表的精益生产的普及,在应用快速反应系统的生产链条上下游企业在初步合作中取得收益,并且逐步加深彼此间的协作与协同,衍生出了供应链管理的思想。80年代Porter(1985)提出了价值链概念,将企业运营分解为战略性相关的基本活动和辅助活动,把企业价值活动联系

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

为一个整体。进入90年代，供应链管理的概念逐渐成型，企业的决策视角不仅仅限于单个企业，更多的是围绕企业的上下游，通过借鉴价值链的概念，着眼于产品的整个供应链，运营管理从单个企业“点”的优化走向整个生产链条“线”的优化，供应链的成功依赖于成员的成功合作，而不是各个企业孤立地进行改进。Fisher（1997）将产品分为功能性产品和创新性产品，认为不同类型的产品需要匹配不同的供应链，提出了产品与供应链的匹配矩阵：功能性产品应该匹配以最小可能成本高效预测需求的效率型供应链，而创新型产品则需要匹配能够快速响应需求以减少库存冗余或缺货的市场反应型供应链。近30年来日新月异的信息与通讯技术和蓬勃发展的电子商务，为供应链管理的学术理念和管理实践提供了强有力的技术与商业支撑。“供应链管理强调通过从供应商、制造商、分销商等到最终顾客的协同，打通链条上的物流、信息流和资金流，建立高速、可靠等竞争优势”（陈剑，2012）。

商业世界正在迅速数字智能化，打破了行业壁垒，创造了新的机遇，同时摧毁（旧的）长期以来成功的商业模式。在供应链的各个环节，各类数字智能设备都在发挥着降低成本、增强灵活性、缩短产品上市时间、提高生产率等作用，优化了供应链效能和效率，提高了生产力和竞争力。同时，端到端的供应链管理实践产生的数据量呈指数级增长，大数据的产生、获取、组织和分析，助力行业解决供应链管理问题。随着数据可用性的增加，以及机器学习和优化方法的不断发展，数据分析在运营管理问题上的应用越来越多，利用机器学习和优化方法可以将大规模数据用于复杂决策。另外，因果推断、可解释模型、“小数据”模型、预测后优化范式等也是数据分析的重要方向（Mišić and Perakis，2020）。在这一数字化颠覆性过程中，尽管全面的技术支持的变革往往比我们预期的要长，历史表明，这种变化的影响比我们想象的更大（Weill and Woerner 2015）。

全球化和专业化分工推动着供应链结构的变化，产品或服务的设计、生产、仓储、配送、售后服务等环节在全球范围的供应链中完成，在大数据、人工智能、云计算、物联网、区块链等数字智能技术的支持下，线性垂直供应链进一步演变为复杂、动态化、虚实结合的供应链网络。物理空间和数字空间的密集交织既对供应链管理形成了新的挑战，也从新的技术、新的视角、新的模式等方面创造了更多的机会，使供应链网络变得更加灵活。Perera等（2017）基于数据驱动探讨了供应链网络拓扑特征，并指出全球供应链网络日益复杂和相互关联，总结了数据驱动供应链网络的拓扑特征，基于适应度的生成网络模型来模拟实证研究中的供应链网络拓扑。Orenstein（2020）指出，供应链网络已从简单的顺序和线性过程演变为高度动态的网络，要求信息共享和可见性在整个网络中可用，并在实时的基础上作出决策。

总体而言，供应链管理的演变植根于不同时代背景下运营管理的不断发展，从聚焦单个企业，扩展到企业间（即供应链），再到面向企业群/网（供应链网络），“供应商—制造商—批发商—零售商”垂直供应链的线性结构被颠覆，形成错综复杂的供应链网络。

（二）供应链生态系统的形成

在供应链网络中，如果从生态系统的视角来看，供应链中不同节点功能类似的厂商形成了一类种群（如图1所示），比如，供应商种群、制造商种群、零售商种群，而且显现出与自然界中种群类似的特征，如密度、年龄结构、出生率和死亡率、迁入率和迁出率等等。而且，随着数字智能技术的

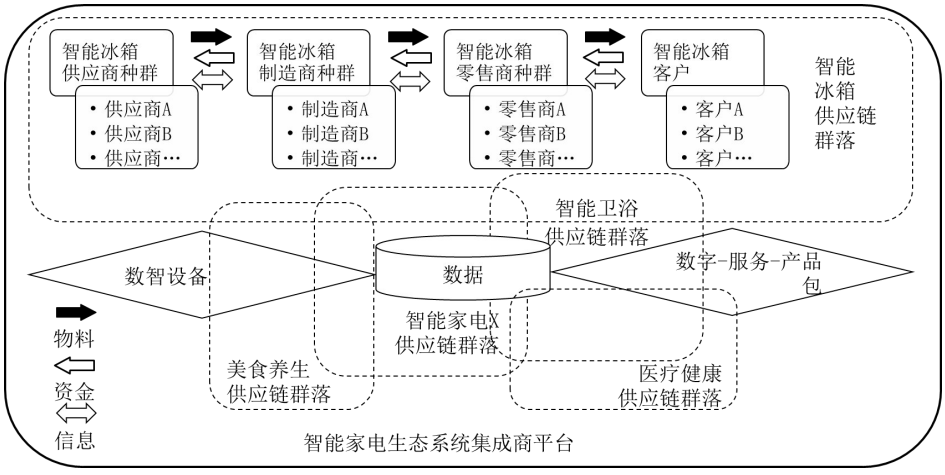


图1 智能家电供应链群落示意图

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

发展,全球不同国家的供应链在时空上形成更为紧密的联系。例如,基于云计算、边缘计算、物联网和区块链等技术可以提供实时信息或数据,并与运输公司、跟踪设备和供应商等相连接。从而,在数字智能技术的推动下,全球时空范围内,作为围绕供应关系形成的种群的集合,不同类型产品的供应链形成了不同类型的供应链群落,比如智能冰箱供应链群落、智能卫浴供应链群落。

随着顾客需求的不断升级,越来越多的产品形成了集成式、一站式的数据—服务—产品包,这些供应链群落并不是相互割裂的,而是相互交叉、交互作用。以智能家庭为例,不再是一个个单一的产品,而是基于数字智能技术相互连接、具有网络结构的智能家电系统。例如,海尔智能家电生态系统中,围绕美食、洗护、用水、空气等集成化需求,将冰箱、燃气灶、油烟机、烤箱、洗衣机、熨烫机、体感试衣镜、净水器、热水器、空调等家电通过物联网和数智技术控制系统集成。并且,基于不同场景形成了新的商业模式。比如,基于衣服的洗护场景,形成了衣物全周期的智能零售与服务,实现了购、洗、护等全场景的交互。这里面既有满足一般家庭生活需求的冰箱、卫浴供应链群落,也有与不同场景结合后形成的满足高阶家庭生活需求的医疗健康、美食养生供应链群落。比如,智能马桶除了传统功能,还可以完成尿常规、尿流率等基本体检功能,通过与手机、平板电脑、云端等数智设备连接,可以与医疗健康等服务供应链群落进一步交互。智能冰箱可以提供养生食谱,与美食养生供应链交互,或者与电商平台交互后可以一键下单采购食材。

从单个企业到线性供应链、到供应链网络、再到供应链生态系统,并不仅仅是结构的变化,而是反映了大量的企业同时与多个不同类型的供应商和客户合作的特点,网络中各种信息流和物流相互作用,相互影响,任何一个节点的小变化往往会导致连锁反应或涟漪效应。供应链网络提供了供应链生态系统形成的物理基础,进而不同供应链群落突破了传统供应链的边界,相互交叉、相互影响(如图1所示),既有基于供应、制造和零售的关系的相互交叉,又有基于生产复合的数字—服务—产品包的相互补充,形成了相互依赖的、网络化、动态化的供应链生态系统,不同供应链之间具有共生关系,更重要的是,所有的参与者协同进化。

全球范围内的各大企业都在拥抱数字智能变革,重视面向生态系统的发展模式。例如,小米生态系统,包括智能手环、智能摄像机、智能血压计、智能插座、智能灯泡等硬件产品,并且集成了合作伙伴的服务,如语音输入领域的科大讯飞。数智技术是供应链生态系统形成的重要支撑,影响到供应链的每个环节,重塑了供应链的组织方式。供应链的各个环节中,人工神经网络、模糊逻辑、数据挖掘、遗传算法、基于代理的系统等人工智能技术都有应用。其中,人工神经网络应用最为广泛,通常用来发现人类难以察觉的复杂模式,包括模式分类、聚类、预测、基于内容和过程控制的检索等(Toorajipour et al.,2021)。基于物联网基础设施,形成"零库存智能制造"的新型制造范式,提供了信息可视性,实现了运营改善(Lyu et al.,2020)。在增材制造打印成本的降低以线性方式不断增加打印价值的同时,打印速度的提升呈S型增长(Song and Zhang,2020)。增材制造对竞争力、成本、供应商、环境、健康和安全、产品质量、生产效率、供应链复杂性和灵活性等均有影响。(Franco et al.,2020)。区块链作为一种分布式记账技术,从库存、运营、组织等不同角度等可以发挥作用:信息化、自动化和标记化,通过提供可视性、信息聚合、信息验证、合同自动化和信息韧性可以改善供应链,可以创造更多稳定、透明、安全、高效和鲁棒的供应链,促进供应链与金融一体化发展(Babich and Hilary,2020)。

(三)供应链生态系统的定义

供应链生态系统可以看作是广义商业生态系统的一个子集,围绕集成式、复合式、一站式的数字—服务—产品包,基于供应链关系,将原本不太相关的各类成员整合而成的、相互依赖、具有供应关系的共同体。为了更好地满足客户一站式的需求,允许不同的产品不断接入数据—服务—产品包,将越来越多的产品和功能集成到一起。比如,传统上空调主要是为了满足舒适温度的需求,现在有了新鲜健康空气的需求,集成了湿度、新风、富氧等不同功能。随着产品功能的越来越集成,复杂程度不断上升,顾客难以灵活掌握。顾客更期望的是集成服务,把所有的东西都整合起来,只要一键就能提供体感舒适、不冷不热的富氧新鲜空气。但是,对于每个顾客而言,体感舒适其实是非常个人化、定制化的需求,随着产品开放程度和复杂程度的上升,越来越需要数字智能技术来支撑集成式、一键式的服务。比如,通过探测器实时感知温度,通过大数据分析顾客对温

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

度、湿度、新风和富氧的不同需求时段，按照客户的动态需求提供服务。

近年来，供应链生态系统开始在学术界引起重视，但对其尚未有统一的定义，学者从不同的研究角度零散提出类似或相近的概念。Viswanadham和Samvedi（2013）以同时考虑绩效和风险进行供应商选择决策为目的，提出用于风险分类的生态系统方法：供应链生态系统由供应链的要素和影响流经供应链的商品、信息和资金的实体组成，这些影响来自政府法规、人力资源、金融资源和自然资源、物流基础设施和管理等，从而作用于供应链的绩效。同样，所有的生态系统因素也会导致风险。Ketchen等（2014）介绍了“战略采购和绩效”专题论坛的多篇文章，将供应生态系统（Supply Ecosystem）视为一组相互依赖和协调的组织，它们共享适应性挑战，共同塑造战略采购基础的形成和发展，从而有助于使其获得竞争优势及实现优异绩效。Stolze等（2016）将服务主导的营销逻辑与供应链管理中的服务生态系统视角结合起来，考虑到购物者营销（Shopper Marketing）依赖于复杂的跨职能和组织协调以创造差异化竞争，提出购物者服务生态系统框架（Shopper Service Ecosystem）：相互依赖，协调活动，面临共同的适应挑战，生态系统网络成员为购物者提供服务。Choi和Fan（2020）从供应链经理的视角出发，将供应商生态系统（Supplier Ecosystem）定义为买方作为领导者创造的生态系统，多个供应商聚集在一起进行合作，买家面对的不仅仅是一家供应商，而是一个供应商网络。

本文侧重于考察数智化环境中的供应链生态系统，将其定义为：围绕数字—服务—产品包，由供应链群落的各类主体关联互动而形成的生态系统（如图2所示）。数字智能技术促进生态系统中的成员融合联动，优化信息流、物流和资金流，提供复合互补、开放扩展的数字—服务—产品包以满足客户个性化需求。供应链生态系统由直接或间接参与数字—服务—产品包创造的所有主体组成，既包括供应商种群（从在生态系统中所处的位置和作用而言，可类比为自然生态系统中的初级生产者，下同）、制造商种群（初级消费者）、零售商种群（中级消费者）、最终客户（高级消费者）和金融服务、物流服务、结算服务等外部服务提供商（系统分解者），也包括在生产、仓储、配送等阶段的数智设备和最终提供给客户的数字—服务—产品包，这些成员相互依赖，共生共存。

供应链生态系统与商业生态系统类似，每一个成员的绩效都与生态系统的整体绩效息息相关，该系统是由大量具有相互支撑、相互补充、相互依赖的供应链组成的共同体，以共生关系紧密地联系在一起，不断地相互作用并寻求合作，以实现其特定目标并实现共同利益。系统的成员之间具有高度的相互依赖关系，任何一个核心团体的弱点都可能破坏整个体系的稳定（Iansiti and Levien，2004）。供应链生态系统向客户提供具有集成功能和扩展性的数字—产品—服务包，可以视为提供多类型、多品种集成的数字—服务—产品包的多家成员，围绕不同的供应链关系，形成的供应链共同体。系统中，成员在不同的供应链环节可能扮演着不同的角色，在A产品供应链中可能是制造商，在B产品供应链中也可能是供应商，成员之间既有竞争，也有合作，共同影响着系统的形成和发展。

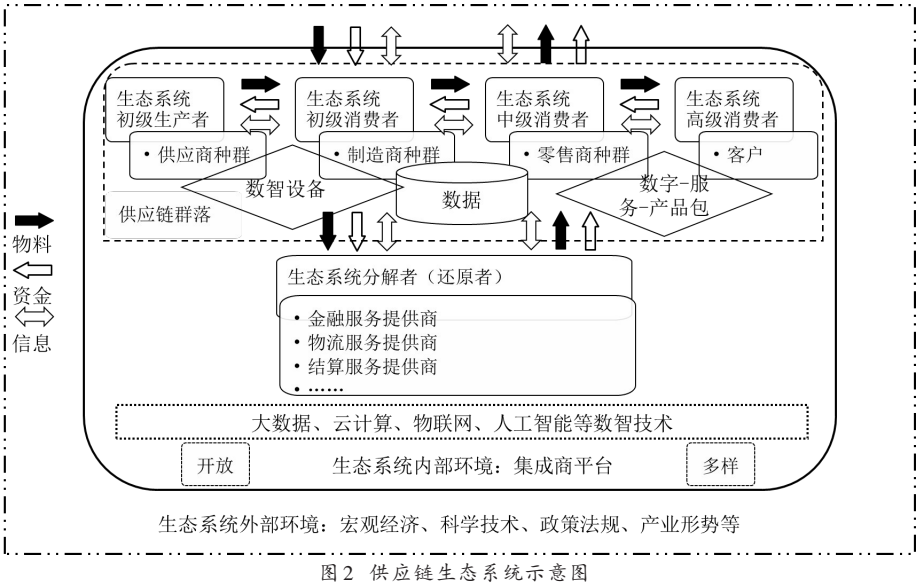


图2 供应链生态系统示意图

（四）供应链生态系统的环境

自然界中由于环境的不同，形成不同类型的生态系统，比如草原生态系统、森林生态系统、农业生态系统、淡水生态系统、海洋生态系统，而且生态系

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

统随着环境的变化而不断演进,持续地、动态地发生着变化。在供应链生态系统中也类似,基于集成的数据—服务—产品包的不同形态,形成了智能家电、智能出行、智能家庭等不同类型的生态系统。总体而言,供应链生态系统中往往会有一家与其他企业相互依赖性最大、对整个系统影响最深远的企业,即核心企业或领导者企业。例如,小米智能家电生态系统和蔚来电动汽车生态系统,分别围绕核心企业小米和蔚来构建。除了产品不同以外,核心企业在供应链中扮演的角色也有很大不同,零售商主导的,例如京东、亚马逊等在线零售商;制造商主导的,例如海尔、华为等制造企业。主导核心企业的角色不同,形成的系统也具有不同特征。

虽然体现的形式有所不同,但是在供应链生态系统中,如图2所示,核心企业往往会构建集成平台作为生态系统形成发展的内部环境,承担了产品集成商、系统管理者和推动者的角色,协调各种不同类型的参与者在供应链的不同环节形成丰富的、异质互补的组合。平台作为内部环境,为开发补充性产品、技术或服务提供了基础,是创造具有互补功能的数字—服务—产品包的创新环境,反过来创新也使这一环境更有价值。而外部环境则是宏观经济、政策法规、产业形势等,这些对生态系统的输入和输出都会产生外部影响。基于外部环境和核心企业构建的平台内部环境,不同类型的群落、数智设备、数智产品以及期间生成的海量数据,共同形成了供应链生态系统。

值得注意的是,供应链生态系统的环境边界是一个相对概念,其环境边界可以不断开放扩展,这是其能够不断发展壮大的基础。围绕不断开放扩展的数字—服务—产品包,基于供应关系建构了不同厂商及客户之间复杂联结的网络,容许不同类型的成员进入,与更多的供应商、用户、提供互补产品的公司相互协调链接。比如汽车制造商的共享出行平台开放车辆端口,除了软件层面,也允许自动驾驶硬件的安装,以更开放包容的态度面对未来的共享出行。随着数据—服务—产品包集成功能的不断增加,将不同类型产品和服务的提供商不断整合,形成越来越丰富、越来越多样的系统。

需要强调的是,供应链生态系统是由系统成员与环境构成的统一整体,系统成员和环境互相影响,即系统成员与环境之间是双向影响和双向输出的。不仅仅外部环境对供应链生态系统成员产生影响,系统成员对外部环境,包括科学技术的发展、法律法规的制定等也在产生影响。例如,智能汽车和共享出行影响的相关政策包括补贴、税收、多人共享车辆推广措施、交通规则、出租车相关法规和土地使用的变化等,这些领域的研究可以为政策制定者提供进一步的工具以作出更好的决策(Baron et al.,2021)。

供应链生态系统强调供应链视角,致力于解决数字—服务—产品包的稳定、可靠、及时的供应,已经成为企业经营管理的对象(企业—供应链—供应链生态系统),是企业运营和竞争不可回避的重要议题。领军企业是否要构建自己的供应链生态系统?中小企业是否要加入已有的供应链生态系统?是加入单一生态系统还是同时加入多个生态系统?企业的商业目标不仅仅是自身的利润最大化,而是要考虑整个供应链生态系统利润的最大化;企业决策不仅仅要考虑自身,更要考虑生态系统成员,任何一个成员的倒闭都可能会导致其他公司的倒闭,甚至影响整个生态系统的生存。从运营管理的研究角度,非常有必要分析供应链生态系统的基本结构,考察其主要特性,这也是本文后续的研究重点。

三、供应链生态系统的基本结构

供应链生态系统的基本结构,是构成系统的要素间相互联系、相互作用的方式和秩序,决定了供应链生态系统的形成、形态和特性,表现为组件或子系统交互的功能。结构从不同的角度和层级来看有很多不同类型,从运营管理的视角,我们不仅关心其静态物理结构、也关心系统内的活动和不同节点之间的互动,更关心不同供应链生态系统的交互。本节将从空间视角的拓扑结构、时间视角的动态结构和系统视角的交互结构3个视角提出分析框架,其核心关注点不是具体的结构形态,而是提供分析供应链生态系统结构的视角,包括结构的形式、系统内部的互动过程、不同生态系统的开放交互。其中,网络结构是基本物理拓扑结构,决定了供应链生态系统的基本形态。但是,网络结构不仅仅是静态的结构,生态系统内的活动,各个不同节点之间的互动,

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

也在影响网络结构的演化。而且，从系统视角看结构变化，不同生态之间也在交互，形成了供应链生态系统在不同尺度上的不断放大集成。另外，数智化带来的连接性、互动性和智能性，不仅推动着消费者和消费者之间、企业和企业之间、数字智能产品和产品之间、数字智能设备之间的互动，也推动着不同生态系统之间的交互和放大集成。

（一）空间视角的拓扑结构

数字智能技术对供应链产生深刻影响，物联网、大数据、云计算等技术推动了不同类型产品之间的互联互通，数据量、计算能力和连接能力的大幅增长，以连接性为基础形成了网络结构。供应链生态系统可以认为是在数字智能技术支撑下，基于系统平台内部环境建立的相互影响、相互连接的不同供应链，由具有互补性和扩展功能的产品或服务的供应商、制造商、零售商、客户组成的网络。从空间视角来看，供应链生态系统的基本拓扑结构为网络结构，供应链成员、数智产品、数智设备等相互连接形成了复杂网络。

供应链生态系统的复杂网络结构中，根据主节点的不同，可能会有各种不同形态，包括星型结构、环型结构、树型结构、总线型结构、分布式结构和混合式结构等常见的拓扑结构。比如，如果是数智产品为主节点，可能会以星型结构为基本结构；如果是数智设备主节点，可能会以分布式结构为基本结构。节点之间的连接既有单向的，还有双向的，既可能是强连接，还有可能是弱连接。复杂网络介于规则网络和随机网络之间，小世界（The Small-World）是其主要特征之一，比较有代表性的模型包括Watts和Strogatz（1998）构建的WS小世界网络模型、Newman和Watts（1999）提出的NW小世界模型等。Vespignani（2018）在WS小世界网络模型提出20周年之际回顾网络科学的发展，提出得益于前所未有的计算能力、大数据集和新的计算建模技术，推动了当前各个领域新一代复杂网络研究的发展，但是以小世界模型为代表的复杂网络模型仍然支撑着我们对网络拓扑结构的理解，其与不同科学领域的结合奠定了网络科学的基础。以复杂网络模型为基础，可以围绕平均路径长度、聚集系数、度及度分布、介数、小世界、无标度等复杂网络的统计特征，从空间视角开展供应链生态系统的拓扑结构分析。

供应链生态系统可以通过节点之间的连接成长发展，可能会向上发展形成更为大型的网络，也可能向下嵌入子网络，还有可能横向发展出新的网络，既可能是平面网络，也可能是多维度的立体网络。无标度（Scale Free）是复杂网络的另一个主要特征。Barabási和Albert（1999）提出许多具有复杂拓扑结构的大型网络都遵循无标度幂律分布特征，这是两种机制的结果：（1）成长机制，网络通过添加新的节点而不断扩展成长；（2）优先连接机制，新的节点在加入网络时会倾向于与具有更多连接的节点相连。从而，其节点的连接数量按照幂律分布衰减，即除了极少的节点有非常多的连接以外，大部分节点只有很少的连接。

（二）时间视角的动态结构

供应链生态系统的基本结构不仅仅是静态的结构，系统内的活动，各个不同节点之间的互动，也在影响其结构，围绕系统提供的数字—服务—产品包，消费者和消费者之间、企业和企业之间、数字智能产品和产品之间、数字智能设备之间都有互动活动。从供给侧来看，新兴数字智能技术的应用推动了数字智能设备之间的互动。比如，工业互联网通过自动化智能对象来感知、收集和处理通信工业系统中的实时事件，数字孪生、协同机器人、数字和物理系统相互映射，不断提高供应链中数字世界和物理直接的互动能力。从需求侧来看，越来越多的产品具有了基于数字智能技术的互动特性，这里面既有智能手机、智能电视等大家习以为常的智能终端，也有在万物互联时代围绕人们日常生活的衣食住行越来越多的新加入的数字智能产品，冰箱、洗衣机、空调、卫浴设施、汽车、可穿戴设备，各种原本相互之间没有关系的产品，越来越成为相互影响、相互依赖的互补品；语音识别、图像识别、虚拟现实、增强现实和混合现实等技术的不断应用，都在推动着产品与产品、人与产品的互动。从供应关系来看，基于具有复合扩展功能的数字—服务—产品包，不同互补产品和服务的供应商、制造商、零售商和客户相互之间形成物流、信息流和资金流的频繁互动。

从时间角度来看，生态系统成员的这种关联互动，形成了时序网络（Temporal Network）。Li等（2017）表示，传统上更关注节点间永久链接的静态网络，但是越来越多的研究认识到自然界和社会中的很多网络具有

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

时序网络的特点,节点之间的链接随着时间变化时断时续。时序网络的结构会随着时间的推移而变化,与静态网络相比,时序网络能够更快地达到可控性,需要的控制能量少一个数量级,具有在静态网络中无法实现的灵活性。Peixoto和Rosvall(2017)提出,复杂系统中组分的动态活动可以用节点和链接随时间变化的时序网络来表示,具有高度复杂性,常常需要采用时间网络大规模动态群落结构的方法。Dondi和Hosseinzadeh(2021)表示,在很多情况下现实世界的网络是动态的,其定义必须拓展到包含特定时间段内互动活动信息的时序网络,并在时序网络框架下对诸多问题展开研究,例如频繁子图挖掘、时间依赖网络中的时序基元、基于链接的节点排序、时间网络的连通性等。这些研究为时间视角的供应链生态系统动态结构分析提供了很好的基础。

(三)系统视角的交互结构

生态系统作为一个研究对象,可以在不同尺度上界定。尺度可小到池塘、湖泊,大到海洋甚至整个地球生态圈。同样围绕数字—服务—产品包,供应商种群、制造商种群、零售商种群,形成了不同尺度的供应链生态系统。如图3所示,智能家电和智能卫浴、智能健康等不同类型的生态系统具有很好的协同关系,相互联系,形成了更为丰富的智能家庭供应链生态系统。进一步,智能家庭供应链生态系统还可以与外部的智能出行、智能餐饮服务等其他类型系统,通过数字智能技术的连接,在更大尺度上进行协同,形成智能生活供应链生态系统。更进一步,这样的生态系统还可以在更大尺度上与其他系统交互。更为重要的是,这些系统并不是相互割裂的,系统成员在生态系统中和其他成员相互依存,不同供应链的上下游企业同时在系统中进行创新、作出贡献并寻找新的数字—服务—产品包的组合,通过各类不同的集成平台,相互交叉形成了互补依存,呈现出不同类型供应能力的集成优化。

具体商业实践中,不同尺度上各类互联网平台整合的趋势越来越明显,推动了不同生态系统之间的交互。比如,腾讯原来在社交领域,通过微信红包和支付,与另外一个金融生态交互。进而,生态系统间的交互形成了"平台的平台",让用户可以通过一个入口获得多家平台的服务,如"高德地图"对在线出行、餐饮酒店等的整合,"支付宝生活服务"对单车、外卖、购物、视频播放等的整合。如图3所示,这种平台的整合,使得供应链生态系统在不同尺度上不断放大集成,核心还是时刻洞察消费者,通过商品动态运营和供应链优化配置,提升线下零售效率,并构建线上、线下O2O新生态。随着"平台的平台"不断扩展形成更为复杂的供应链生态系统,从而,从系统学的视角来看形成了"系统的系统"(System of Systems)。"系统的系统"中,当构成系统的主体具有共同目的时,形成了管理学中的组织概念(Ackoff,1971)。通常而言,相对大型"系统的系统"一般都缺少集中式的控制和权威。相反,系统中的成员形成合作伙伴联盟,基于各自可能的条件和观点,拥有分散的力量和权限,这样的系统也被称为系统联盟(Federation of Systems)。系统联盟中,几乎没有集中式的权力和权威来"命令和控制",联盟伙伴的参与是基于协作和协同来满足联盟的整体需求(Sage and Cuppan,2001)。钱学森先生根据系统结构的复杂性,提出了将系统分为简单系统、简单巨系统、复杂系统、复杂巨系统和特殊复杂巨系统。如果子系统种类很多并有层次结构,它们之间关联关系又很复杂,这就是复杂巨系统(钱学森等,1990)。随着"平台的平台"不断集成,开始形成复杂巨系统。当然,这些系统又都是开放的,与外部环境有物质、能量和信息的交换,所以又称作开放的复杂巨系统(钱学森,2007)。平台不断集成,系统不断放大,也可以看作是复杂自适应系统。将复杂自适应系统模型应用到战略管理中,强调构建能够快速进化的有效适应性解决方案的

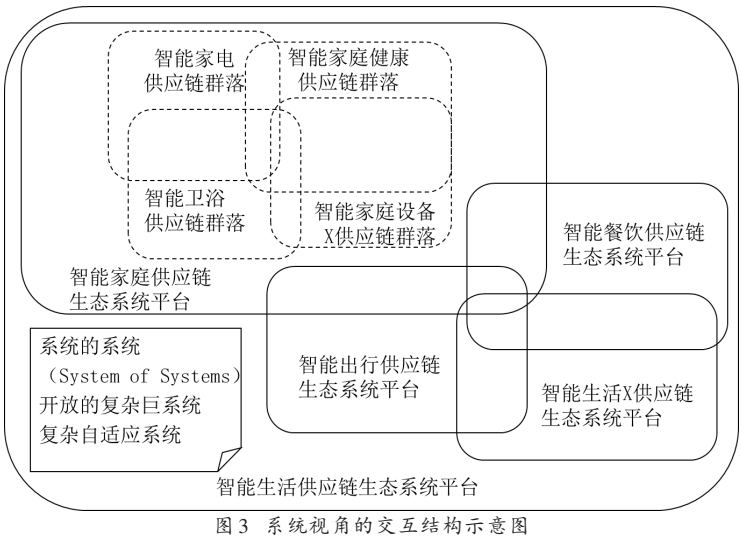


图3 系统视角的交互结构示意图

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

系统(Anderson,1999)。这些都为从系统的视角分析供应链生态系统提供了非常好的支撑。

四、供应链生态系统的主要特性分析

基于拓扑结构、动态结构和交互结构,供应链生态系统形成了与单一企业、线性供应链不同的特性,以应对竞争越来越激烈的复杂商业环境。本节重点考察适应性(Adaptability)、涌现性(Emergence)、进化性(Evolution)这3种主要特性。其中,适应性包含鲁棒性、敏捷性、韧性、柔性、自组织性等概念,关注短时间尺度内系统保持平衡的特性。但是,开放多样的系统是在发展变化的,不论是系统的外部环境、内部环境,还是系统成员、系统结构。涌现性关注系统基于开放多样和动态交互等非线性特征,打破当前平衡点进行创新变革的特性,包含了组合式创新的初级涌现性和颠覆式创新的高级涌现性。系统旧的平衡点打破后,又会再平衡,在新的平衡点下,基于适应性在短时间尺度内保持新的平衡。在适应性和涌现性的螺旋式上升的共同作用下,加以具有增补作用的正反馈推动,从更长时间尺度上看,通过变异和选择性保留,系统形成了"优胜劣汰",实现了进化,向着结构更复杂、功能更强大的方向变化,也就是本节最后考察的进化性。值得注意的是,供应链生态系统这3种特性的形成有赖于数智化带来的互动性、智能性和迭代性,后续我们将具体阐述。

(一)适应性

数智供应链生态系统的环境无时无刻都在发生着变化,自然灾害和各类突发事件会导致供应链中断,供应链能够快速恢复和应变的能力至关重要。Lee(2004)提出3A供应链的概念,包括适应性(Adaptability)、一致性(Alignment)和敏捷性(Agility),认为供应链不仅仅是快速和成本有效的,也应该是敏捷的、适应的,并且保证供应链所有企业利益的一致性。3A供应链的概念已经在学界和业界得到广泛关注和应用(Cohen and Kouvelis,2021;Erhun et al.,2021;Escamilla et al.,2021)。Ivanov(2020)提出可行供应链(Viable Supply Chain)的概念:是一个动态适应和结构可变的增值网络,能够对变化敏捷反应,有韧性吸收负面事件并在中断后恢复并长期生存,根据内部和外部变化调整能力利用及其分配适应需求,以确保向社会和市场提供长期商品和服务。此次新冠肺炎疫情对全球供应链的影响凸显了适应性的重要度,要求供应链既能够保持相对稳定、快速响应,又有能力迅速恢复、灵活调整各个环节。本文所指适应性是一个复合概念,如表1所示,包括了鲁棒性、敏捷性、韧性、柔性、自组织性等不同方面。

在多层级、网络化、动态化的供应链生态系统中,整个系统都共同致力于降低和管理风险,提高系统的鲁棒性和敏捷性。鲁棒性强调能够避免供应链关系的停顿或崩溃,维持相对稳定供应的能力;敏捷性强调对供应变化或需求变化具有快速响应的能力。而且,为有效地满足客户日益提升的个性化需求,实现不断增长的定制化要求和应对激烈竞争,要求提高供应链系统的韧性和柔性。韧性强调面对意外事故时可以作出适应性反应,并调整回到正常状态的能力;柔性强调调整供应链各个环节,动态分配不同产品(服务)族之间的供应和生产能力。

数字智能技术提供了具有可操作性的支撑,例如物联网、区块链等数字智能技术使远程和实时监视、诊断、控制和优化地理上广泛分散的供应链成为可能,协同机器人、人工智能、可穿戴设备和增强现实技术可以提升人机互动的能力,从而构建全球分布的适应性供应链网络,具有能够动态快速调整和重新分配供应链能力的可能性,提高了系统的鲁棒性和敏捷性。人工智能和机器学习成为了智能工厂革命的驱动力,例如,交互

表1 供应链生态系统的适应性

	维度	内容
供应链生态系统的适应性	鲁棒性	强调供应链生态系统在异常、意外或外在冲击扰动下,能够避免停顿或崩溃,维持对数字—服务—产品包的相对稳定供应。
	敏捷性	以客户需求为导向,将供应链生态系统成员整合到高度协同、快速响应的供应链网络中,形成对供应变化或需求变化具有快速响应能力的供应链共同体。
	韧 性	承受意外事故并从事故中恢复的能力,强调面对意外事故时可以作出恢复反应,并且可能恢复到比意外事故发生前更为有利、稳定的状态,从而获得持续的竞争优势。
	柔 性	在多种类、小规模、定制化客户需求日益增加的情况下,能够灵活调整供应链各个环节,动态分配不同产品(服务)族之间的供应和生产能力,实现快速供应、生产、销售多种产品(服务)。
	自组织性	基于鲁棒性、敏捷性、韧性和柔性而衍化出的更为综合的性能,在没有集中式控制干预的情况下,系统成员基于供应关系和内部的负反馈,进行相对分散的决策,自我组装和自我调节,自下而上地快速应对外界的干扰和影响。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

式可视化技术是一种可行的、快速的、有效的方法,提高了整个供应链生态系统的可视性,增强了供应链生态系统的韧性和柔性。

更进一步,基于鲁棒性、敏捷性、韧性和柔性而衍化出的更为综合的性能,在供应链生态系统中,促成了系统成员共生共存、合作协同的自组织性。供应链生态系统由大量基于供应关系的企业组成,是动态的、复杂的。在动态的环境中,生态系统遭受干扰后,基于内部的负反馈和自我调节,在没有集中式控制干预的情况下,自下而上地快速应对外界的干扰和影响,具有自组织、自配置、自修复和自纠正的功能(Arthur,2021)。当多个供应链网络合作应对中短期供应风险时,它们可以被视为复杂的自适应系统,表现出自组织性(Azadegan and Dooley,2021)。

供应链生态系统具有多种网络拓扑结构,但结构的不同不应该影响自组织性,即便具有核心企业的星型供应链生态系统中也是如此。供应链生态系统的核心企业,比如苹果、腾讯或阿里,扮演了生态系统管理者的角色,集成数字—服务—产品包的功能定义、功能扩展、供应链合作关系选择、利益分配机制,都和核心企业息息相关,推动系统成员朝着共同的愿景前进,协同形成各类成员在生态系统中的功能定位。但是,供应链生态系统中核心企业的存在并不意味着集中控制,核心企业更多的是提供了生态系统的内部环境,设计适应自组织特点的生态系统机制,吸引更多的合作伙伴加入生态系统,系统的成员仍旧是自主地进行分散决策。基于自组织性,随着生态系统的演进,核心企业也可能会发生改变,但不论如何变化,其功能定位都类似:致力于推动系统成员与生态系统的整体方向保持一致。

(二)涌现性

自然界中,生物与生物间(同种或不同种)、生物与环境间的协同进化形成多样性,是生态系统能够健康发展的基础保障和重要体现。同样,供应链生态系统中,基于集成化数字—服务—产品包的开放性,越来越多的产品和合作伙伴加入系统,多样性对其健康发展也发挥着重要作用。开放多样的供应链生态系统推动了价值共创,不同类型的成员在供应链的不同环节互动、不同生态之间相互开放关联,共同创造价值。例如,制造商在设计环节就让合作伙伴和消费者共同参与进来,能够更好地在产品中体现消费者需求。合作伙伴和消费者的参与程度越高,生态系统对产品的商业洞见就越多。再如,京东在电商领域,主要是零售和制造生态交互,现在通过与医疗健康生态交互,形成新的价值创造。价值共创的伙伴可以在决策和购物过程的不同阶段,通过云计算、虚拟现实、增强现实、混合现实等技术,进行实时动态的交互,创造更符合市场需求的产品。通过价值共创的开放商业模式,能够更好地抓住外部机会,降低成本,形成竞争优势,以应对不断发展的新兴颠覆性商业模式。

基于开放多样和价值共创,在本文第三节所述动态结构和交互结构的共同作用下,为客户提供的数字—服务—产品包并不是简单的产品与服务的线性叠加,而是非线性关系,具有整体大于个体加和的效应。如图4所示,从1到N是组合式创新,或者可以称为初级涌现性。比如,智能冰箱与智能电子秤、可穿戴设备相连接,可以紧密跟踪消费者的健康情况,为消费者提供定制化的健康菜单,提供推荐食物和健康饮食提醒。更进一步,如果智能冰箱通过与线上零售平台、在线支付系统连接,可以自动下单订货并支付。共享单车是另外一个典型例子,自行车、二维码和手机的结合,带来了一个完全不一样的全新出行业务。再如,在线外卖本身是提供外卖服务,但是通过数字智能定位系统,更为重要的是外卖过程中的数据采集,外卖过程中生成的包括交通路线规划、居民基本情况等数据具有更高的价值。微信也是组合式创新的典型例子,即时通讯工具结合各类微信小程序链接整合不同类型的应用场景,共同构成一个多种功能集成复合的生态系统。在供应链生态系统中,当互补者与从网络效应中获益的伙伴形成关系时,在共同创造价值的同时,这些关系加强了网络效应,增加了合作伙伴的创造价值的能力。生态系统成员之间互相依赖、共生共存、共同成长,在生态系统中发挥各自优势,相互补充支撑以创造额外

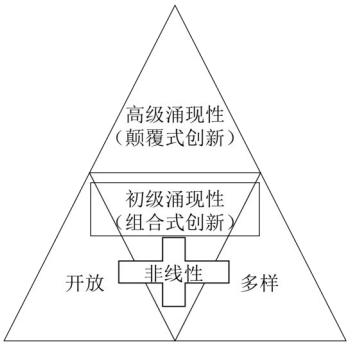


图4 供应链生态系统的涌现性示意图

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的价值、提高整个供应链生态系统效率。

从0到1则是颠覆式创新，或者可称为高级涌现性。苹果Iphone的发明，是颠覆式创新的典型代表。Iphone不仅仅是将电话、移动上网、音频、视频功能的创新整合，更是开创性地通过APP Store构建了苹果独有的生态系统，彻底颠覆了手机行业的业态。高级涌现性带来的颠覆性创新也需要考虑如何更好地适应生态系统。供应链生态系统的核心企业或者系统的协调者在将颠覆性创新引入现有的生态系统时，必须意识到将会面临的“颠覆者的困境”，即他们如何才能获得被其创新所颠覆的现有企业的支持，必须考虑在创造具有更高附加价值的数字—服务—产品包、吸引新的合作伙伴的同时，如何降低生态系统内现有供应链成员所感受到的颠覆威胁。

（三）进化性

从更长时间尺度来看，供应链生态系统内外部环境都有着大量持续变化，在适应性和涌现性的螺旋式上升的共同作用下，系统形成了协同进化，向着结构更复杂、功能更强大的方向变化。如图5所示，其进化性体现在3个层面：数字—服务—产品包的进化、供应链成员的进化、生态系统的进化。为满足客户不断升级的需求，数字—服务—产品包在不断进化，既有单一产品功能的不断升级换代、也有形成数字—服务—产品包的不同服务和产品的协同进化。比如，小米生态系统中，小米手机自身在不断更新换代，而且基于小米手机，小米周边产品（比如蓝牙音箱、耳机、自拍杆、智能插座、血压计等）与小米手机在协同进化。协同进化中，既有这些周边产品自身的升级换代，也有新的产品加入，还有不适应市场需求的产品被淘汰。供应链成员的进化是数字—服务—产品包进化的自然延伸。数字—服务—产品包在不断进化，形成供应链成员的协同进化，需要供应链成员在产品的设计、制造、销售、配送和售后等不同环节都随之进化。而且，不仅仅是供应链成员自身的进化，企业不可能完全依靠自己来提供这些产品和服务，需要合作伙伴的协同进化，系统中的企业根据业务需要，不断增加或淘汰具有互补功能的合作伙伴。

系统的正反馈推动了进化性，正反馈具有增补作用，能促进事物的发展，正反馈系统通过迭代可以描述系统的发展或进化。迭代关系可以是单变量和多变量，线性或非线性的，随机的或确定的，可以是点点变换及集合或图形的变换，可以是算法及选择过程等（郑维敏，1997）。供应链生态系统的进化是数字—服务—产品包的进化和供应链成员的进化基础上宏观层面的进化。系统中的各种主体间相互作用，将会进化出一大批新产品、新业态、新体系结构、新商业模式。而且，这些新的业务活动通过不同的网络拓扑结构形成更多的链接，生态系统内更为频繁的动态互动，生态系统之间更加复杂的交互，推动生态系统的组织形式和结构的扩展变化，形成更加复杂的生态系统结构。苹果的iOS和谷歌的Android智能手机生态系统表明，生态系统复杂程度越高越有助于应用程序开发人员维持其优势（Kapoor and Agarwal，2017）。生态系统进化的趋势是为了实现更加强大的功能，更好适应外部商业环境的变化，适应消费者更为个性化、动态、多变的需求，形成更高的生产效率，实现更大的市场占有，产生更为丰富的产品形态，更好地在全球化市场中成长和竞争。

基于进化性，与自然界的生态系统类似，将会形成两种进化机制，即变异性和选择性保留，变异性推动了系统的不断创新满足客户更高的需求，而选择性保留则保证了系统的稳定性和延续性。进化的过程中，形成了“优胜劣汰”，不具有竞争力的产品形态被淘汰、不具有竞争力的供应链成员被淘汰、不具有竞争力的商业模式被淘汰，形成了新老产品、新老成员、新老商业模式之间的替代。诺基亚、摩托罗拉在手机行业的衰落，柯达在数码相机领域的凋零，苹果在智能手机时代的崛起，正是这种进化带来的“优胜劣汰”的结果。进化性推动形成更好地满足不断升级的客户需求的生态系统、产生更为

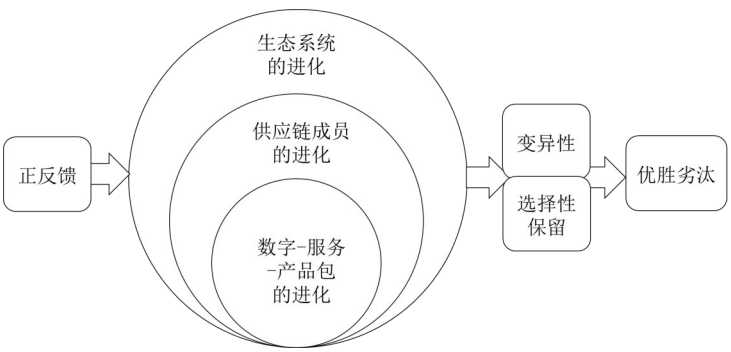


图5 供应链生态系统的进化性示意图

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

深刻的创新、提供具有更多附加价值的数字—产品—服务包。

五、总结与展望

供应链生态系统的概念无论是在产业界还是学术界都引起了越来越多的重视,但尚缺乏系统全面的研究。本文从供应链管理的发展简述出发,梳理供应链生态系统的形成,给出供应链生态系统的定义;随后,分别从空间、时间和系统3个视角分析其基本结构;进而,考察其适应性、涌现性和进化性等主要特性。通过本文的研究,如图6所示,从定义、系统成员、环境、基本结构、主要特性等方面,构建数智化环境下供应链生态系统的基本框架,为数智化时代的供应链管理变革提供参考。未来,围绕供应链生态系统,可重点关注参与者行为、产品创造策略、竞争模式等方面,在这些领域开展更为深入的研究。

(一)参与者行为

参与者发生很大变化,不仅仅是传统的供应商、制造商和零售商等在供应链生态系统中发挥着作用,越来越多的组织参与到系统中来,包括了产品设计公司、物流提供商、金融服务机构等,甚至包括了终端消费者、数智设备和数智产品。供应链生态系统不仅仅要关注生产者的角色,也要重视消费者、尤其是终端消费者作为活跃成员参与生态系统的重要影响。融合了人的行为和物理世界的智能化采购系统实现了消费的自动化,使购买过程更加顺畅便捷(Adamopoulos et al.,2021)。随着智能化程度的提高,数智设备作为生产制造系统的重要组成部分,越来越多地使用传感器和数字化连接,未来的智能工厂将越来越依赖于相互连接、相互协作的数智设备。未来人机交互在设计过程中以一种互联的、丰富的、人性化的方式来处理数据(Gorkovenko et al.,2020)。对供应链生态系统中的不同类型参与者:商家、消费者、数智设备、数智产品的行为和相互关系开展研究,需要从生态系统的视角进一步审视。

(二)产品创造策略

供应链生态系统中,数字—服务—产品包具有集成、开放的特点,系统提供的不是单一产品,而是基于数据,为实现消费者日益集成化的服务,具有越来越复合集成功能的产品,增加了很多功能性的东西,提升了很多智慧和连接的能力,不断开放扩展,可以形成更大的数字—服务—产品包,相互连接、相互作用,具有异构性、交互性和定制化的特点。人工智能增强动态学习和适应的能力,强化设计思维的原则,即:以人为中心,溯因性和迭代性(Verganti et al.,2020)。最终,将会推动具有自我修复、自我适应、自我重新配置功能的数字—服务—产品包的出现,可以随着时间的推移而不断改进。人工智能与认知计算、物联网、增材制造、机器人、虚拟和混合现实等技术相结合,正在改变产品的创新、设计、制造、组装、营销、服务、交付的内容和模式。例如,针对智能产品在共享市场中的营销,通过改变产品可重复使用的程度,可以设计产品的共享性,同时结合灵活的非线性定价(Weber,2020)。未来,可以在供应链生态系统框架下研究产品创造策略的变化,包括产品的创新、设计、生产、营销等环节的变化,无论是从需求侧还是供给侧,从生态系统的不同层面,都有很多需要深入开展的研究工作。

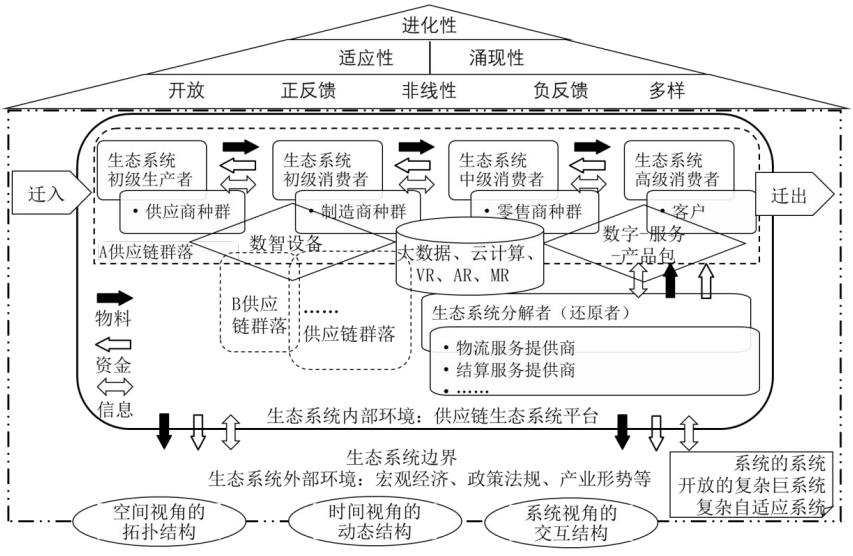


图6 供应链生态系统的基本框架

(三)竞争模式

供应链生态系统中,竞争模式发生了根本变化,不仅仅是强

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

调合作大于竞争，更重要的是强调共生。数字平台的日益普及正促使老牌公司重新启动战略，对竞争、协作和共存等新兴形式兼容并包，体现了互惠主义的“水涨船高”策略，而不是敌对分出胜负（Khanagha et al.，2020）。这里面，既有不同成员之间对客户、资源的直接竞争，也有由于产品部分替代关系的间接竞争。竞争之外，更广泛的是共生关系，既有成员实现共同收益的互利共生，也有未损害一方利益而另一方受益的偏利共生，还有系统应该避免的一方受益但损害另一方利益的寄生共生。强大的生态系统能够很好地平衡其成员的合作价值贡献和竞争价值分配（Gueler and Schneider，2021）。基于供应链生态系统的内外部环境，供应链核心企业的作用在于有效设计生态系统治理机制，实现竞争与合作的动态平衡，推动系统成员的共生共存与共同发展。如何设计出更有效的供应链生态系统运营机制，创造出更为广泛的多赢结果，也是未来研究的重要方向。

（作者单位：教育部人文社科重点基地、清华大学现代管理研究中心、清华大学经济管理学院）

参考文献

（1）陈剑、黄朔、刘运辉：《从赋能到使能——数字化环境下的企业运营管理》，《管理世界》，2020年第2期。

（2）陈剑：《适应制运作管理》，机械工业出版社，2012年。

（3）钱学森：《创建系统学》（新世纪版），上海交通大学出版社，2007年。

（4）钱学森、于景元、戴汝为：《一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论》，《自然杂志》，1990年第1期。

（5）郑维敏：《正反馈系统理论》，《系统工程理论与实践》，1997年第3期。

（6）Ackoff，R. L.，1971，“Towards a System of Systems Concepts”，*Management Science*，17（11），pp.661~671.

（7）Adamopoulos，P.，V. Todri and A. Ghose，2021，“Demand Effects of the Internet-of-Things Sales Channel：Evidence from Automating the Purchase Process”，*Information Systems Research*，32（1），pp.238~267.

（8）Anderson，P.，1999，“Complexity Theory and Organization Science”，*Organization Science*，10（3），pp.216~232.

（9）Arthur，W. B.，2021，“Foundations of Complexity Economics”，Nat Rev Phys：1~10.

（10）Azadegan，A. and Dooley，K.，2021，“Typology of Supply Network Resilience Strategies：Complex Collaborations in a Complex World”，*Journal of Supply Chain Management*，57（1），pp.17~26.

（11）Babich，V. and Hilary，G.，2020，“Distributed Ledgers and Operations：What Operations Management Researchers Should Know About Blockchain Technology”，*Manufacturing & Service Operations Management*，22（2），pp.223~240.

（12）Barabási，A. L. and Albert，R.，1999，“Emergence of Scaling in Random Networks”，*Science*，286（15 October），pp.509~512.

（13）Baron，O.，Berman，O. and Nourinejad，M.，2021，“Introducing Autonomous Vehicles：Adoption Patterns and Impacts on Social Welfare”，*Manufacturing & Service Operations Management*，Published Online in Articles in Advance：February 15，2021（https://doi.org/10.1287/msom. 2020.0955），pp.1~18.

（14）Choi，F. W. T. and Fan，D.，2020，“Supplier Ecosystems Managing Complexities”，*Supply Chain Management Review*，September/October，pp.48~55.

（15）Cohen，M. A. and P. Kouvelis，2021，“Revisit of AAA Excellence of Global Value Chains：Robustness，Resilience，and Realignment”，*Production and Operations Management*，30（3），pp.633~643.

（16）Dondi，R. and Hosseinzadeh，M. M.，2021，“Dense Sub-networks Discovery in Temporal Networks”，SN Computer Science，Published online：20 March 2021（https://doi.org/10.1007/s42979-021-00593-w），pp.1~11.

（17）Erhun，F.，Kraft，T. and Wijnsma，S.，2021，“Sustainable Triple-A Supply Chains”，*Production and Operations Management*，30（3），pp.644~655.

（18）Escamilla，R.，Fransoo，J. C. and Tang，C. S.，2021，“Improving Agility，Adaptability，Alignment，Accessibility，and Affordability in Nanostore Supply Chains”，*Production and Operations Management*，30（3），pp.676~688.

（19）Fisher，M.，1997，“What is the Right Supply Chain for Your Product?”，*Harvard Business Review*，75，pp.105~116.

（20）Franco，D.，Miller Devós Ganga，G.，de Santa-Eulalia，L. A. and Godinho Filho，M.，2020，“Consolidated and Inconclusive Effects of Additive Manufacturing Adoption：A Systematic Literature Review”，*Computers & Industrial Engineering*，Available online 8 August 2020（https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106713），pp.1~29.

（21）Gartner，2021，“Gartner Glossary”，2021，from https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/digitalization.

（22）Gorkovenko，K.，Burnett，D. J.，Thorp，J. K.，Richards，D. and Murray-Rust，D.，2020，Exploring The Future of Data-Driven Product Design. *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*，pp.1~14.

（23）Gueler，M. S. and Schneider，S.，2021，“The Resource-based View in Business Ecosystems：A Perspective on the Determinants of a Valuable Resource and Capability”，*Journal of Business Research*，133，pp.158~169.

（24）Iansiti，M. and Levien，R.，2004，*The Keystone Advantage：What the New Dynamics of Business Ecosystems Mean for Strategy，Innovation，and Sustainability*，Harvard Business School Press，Cambridge，MA.

（25）Iansiti，M. and Levien，R.，2004，“Strategy as Ecology”，*Harvard Business Review*，82（3），pp.68~78.

（26）Ivanov，D.，2020，“Viable Supply Chain Model：Integrating Agility，Resilience and Sustainability Perspectives-lessons from and Thinking Beyond the COVID-19 pandemic”，*Ann Oper Res*，pp.1~21.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(27) Jacobides, M. G., 2019, "In the Ecosystem Economy, What's Your Strategy?", *Harvard Business Review*, September-October, pp.129~137.

(28) Kapoor, R. and Agarwal, S., 2017, "Sustaining Superior Performance in Business Ecosystems: Evidence from Application Software Developers in the iOS and Android Smartphone Ecosystems", *Organization Science*, 28(3), pp.531~551.

(29) Ketchen, D. J., Crook, T. R. and Craighead, C. W., 2014, "From Supply Chains to Supply Ecosystems: Implications for Strategic Sourcing Research and Practice", *Journal of Business Logistics*, 35(3), pp.165~171.

(30) Khanagha, S., Ansari, S., Paroutis, S. and Oviedo, L., 2020, "Mutualism and the Dynamics of New Platform Creation: A Study of Cisco and Fog Computing", *Strategic Management Journal*, Published online: J. 2020(https://doi.org/10.1002/smj.3147), pp.1~31.

(31) Lee, H. L., 2004, "The Triple-A Supply Chain", *Harvard Business Review*, 82(10), pp.102~112.

(32) Li, A., Cornelius, S. P., Liu, Y. Y., Wang, L. and Barabási, A. L., 2017, "The Fundamental Advantages of Temporal Networks", *Science*, 358(24), pp.1042~1046.

(33) Lindeman, R. L., 1942, "The Trophic-dynamic Aspect of Ecology", *Ecology*, 23, pp.399~418.

(34) Lyu, Z., Lin, P., Guo, D. and Huang, G. Q., 2020, "Towards Zero-Warehousing Smart Manufacturing from Zero-Inventory Just-In-Time Production", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Available online 15 January 2020 (https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.101932), pp.1~11.

(35) Mišić, V. V. and Perakis, G., 2020, "Data Analytics in Operations Management: A Review", *Manufacturing & Service Operations Management*, 22(1), pp.158~169.

(36) Moore, J. F., 1993, "Predators and Prey: A New Ecology of Competition", *Harvard Business Review*, 71(3), pp.75~86.

(37) Moore, J. F., 1996, *The Death of Competition: Leadership and Strategy in the Age of Business Ecosystems*, Harper Business, New York.

(38) Newman, M. E. J. and Watts, D. J., 1999, "Renormalization Group Analysis of the Small-world Network", *Physics Letters*, A(263), pp.341~346.

(39) Olsen, T. L. and Tomlin, B., 2020, "Industry 4.0: Opportunities and Challenges for Operations Management", *Manufacturing & Service Operations Management*, 22(1), pp.113~122.

(40) Orenstein, P., 2020, "The Changing Landscape of Supply Chain Networks: An Empirical Analysis of Topological Structure", *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 59(1), pp.53~73.

(41) Peixoto, T. P. and Rosvall, M., 2017, "Modelling Sequences and Temporal Networks with Dynamic Community Structures", *Nat Commun*, 8(1), pp.1~12.

(42) Peltoniemi, M., 2006, "Preliminary Theoretical Framework for the Study of Business Ecosystems", *Emergence: Complexity & Organization*, 8(1), pp.10~19.

(43) Perera, S., Bell, M. G. H. and Bliemer, M. C. J., 2017, "Network Science Approach to Modelling the Topology and Robustness of Supply Chain Networks: A Review And Perspective", *Appl Netw Sci*, 2(1), pp.1~25.

(44) Porter, M. E., 1985, *The Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*, New York, The Free Press.

(45) Reier Forradellas, R. F. and Garay Gallastegui, L. M., 2021, "Digital Transformation and Artificial Intelligence Applied to Business: Legal Regulations, Economic Impact and Perspective", *Laws*, 10(3), pp.1~22.

(46) Sage, A. P. and Cuppan, C. D., 2001, "On the Systems Engineering and Management of Systems of Systems and Federations of Systems", *Information Knowledge Systems Management*, 2(4), pp.325~345.

(47) Song, J. S. and Zhang, Y., 2020, "Stock or Print? Impact of 3D Printing on Spare Parts Logistics", *Management Science*, 66(9), pp.3860~3878.

(48) Stolze, H. J., Mollenkopf, D. A. and Flint, D. J., 2016, "What is the Right Supply Chain for Your Shopper? Exploring the Shopper Service Ecosystem", *Journal of Business Logistics*, 37(2), pp.185~197.

(49) Tansley, A. G., 1935, "The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms", *Ecology*, 16, pp.284~307.

(50) Toorajipour, R., Sohrabpour, V., Nazarpour, A., Oghazi, P. and Fischl, M., 2021, "Artificial Intelligence in Supply Chain Management: A Systematic Literature Review", *Journal of Business Research*, 122, pp.502~517.

(51) Verganti, R., Vendraminelli, L. and Iansiti, M., 2020, "Innovation and Design in the Age of Artificial Intelligence", *Journal of Product Innovation Management*, 37(3), pp.212~227.

(52) Vespignani, A., 2018, "Twenty Years of Network Science", *Nature*, 558(28), pp.28~29.

(53) Viswanadham, N. and Samvedi, A., 2013, "Supplier Selection Based on Supply Chain Ecosystem, Performance and Risk Criteria", *International Journal of Production Research*, 51(21), pp.6484~6498.

(54) Watts, D. J. and Strogatz, S. H., 1998, "Collective Dynamics of 'Small-world' Networks", *Nature*, 393(4), pp.440~442.

(55) Weber, T. A., 2020, "How to Market Smart Products: Design and Pricing for Sharing Markets", *Journal of Management Information Systems*, 37(3), pp.631~667.

(56) Weill, P. and Woerner, S. L., 2015, "Thriving in an Increasingly Digital Ecosystem", *Sloan Management Review*, 56(4), pp.26~34.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Operations Management Innovation Enabled by Digitalization and Intellectualization: From Supply Chain to Supply Chain Ecosystem

Chen Jian and Liu Yunhui

(Research Center for Contemporary Management, Key Research Institute of Humanities and Social Sciences at Universities, School of Economics and Management, Tsinghua University)

Summary: Digital and intelligent technologies lead to profound innovations from both the supply and the demand side. As customers become more demanding, enterprises make innovations by providing Digital-Service-Product Packages (DSPPs) with integrated, open and expansible functions. On the basis of the networked, dynamic, online to offline supply chains, combined with the intersecting and complementary supply and demand relationship, Supply Chain Ecosystems (SCEs) emerged in recent years. In a SCE, members are interdependent, interacting and symbiotic.

By summarizing the development and evolution of supply chain management, we define a SCE as an ecosystem that provides DSPP, which is developed by the interaction of various entities from supply chain communities. The digital and intelligent technologies promote the integration and linkages among various members of a SCE so as to provide composite, complementary, open and expansible DSPP to meet customers' personalized needs, through optimizing information, material and capital flows. A SCE is made up of all kinds of entities directly or indirectly related to DSPP creation, including suppliers, manufacturers, retailers, end customers as well as financial service, logistics service, settlement service and other external service providers. Moreover, digital and intelligent devices supporting the processes of design, production, warehousing, distribution, transaction and other activities, and products with smart components are also members of a SCE.

In this paper, we establish an analytical framework from three perspectives: space (topological structure), time (dynamic structure) and systems (interactive structure), respectively. We cover the physical formation of structures, internal interaction processes inside an ecosystem and open interplay among different ecosystems. The basic physical topological structure of a SCE is the network structure, which determines the system configurations of a SCE. In addition, we have to pay close attention to the activities in an ecosystem and the interaction between different nodes. The dynamic structure is also indispensable from the perspective of time. Moreover, from the perspective of the systems, the different ecosystems are continuously interplaying with one another, resulting in the amplification of a SCE on different scales.

Afterwards, we examine SCE's leading characteristics, such as adaptability, emergence and evolution, based on basic structures from three separate perspectives. Adaptability includes various concepts such as robustness, agility, resilience, flexibility, self-organization and it highlights the equilibrium state of an ecosystem on a short-time scale. Emergence emphasizes on the characteristics of transformation resulting from breaking the current equilibrium state due to the nonlinearity driven by openness, diversity and dynamic interaction structure. The emergence can be divided into two categories, i.e., the preliminary emergence from combinatorial innovation and the advanced emergence from disruptive innovation. After an equilibrium state is broken, an ecosystem shall rebalance itself to a new equilibrium state, which is maintained on a short time scale based on the adaptability. Evolution stresses survival of the fittest in the long-time scale, which is driven by adaptability, emergence as well as positive feedback, resulting in more complex structures and more powerful functions through the variation and selective retention.

In summary, we first give the definition of SCEs, then establish an analytical framework of SCEs, following by discussing three key characteristics of SCEs, i.e., adaptability, emergence and evolution, and finally explore the main future research directions such as the behavior of the players of the ecosystems, products creation strategies and modes of competition.

Keywords: digitalization and intellectualization; supply chain; ecosystem; community; evolution

JEL Classification: M10

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net